



## Metode for konsekvensberegninger for store havarier. 0,06 pct. udslip fra Forsmark 3

Nielsen, F.; Thykier-Nielsen, Søren

*Publication date:*  
1987

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Nielsen, F., & Thykier-Nielsen, S. (1987). *Metode for konsekvensberegninger for store havarier. 0,06 pct. udslip fra Forsmark 3*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 2624

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Metode for konsekvensberegninger for store havarier**

**0,06 % udslip fra Forsmark 3**

**Flemming Nielsen og Søren Thykier-Nielsen**

**Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark  
Marts 1987**

Risø-M-2624

METODE FOR KONSEKVENSBEREKNINGER FOR STORE HAVARIER  
0,06% udslip fra Forsmark 3

Flemming Nielsen og Søren Thykier-Nielsen

Resumé. Denne rapport er udarbejdet som kontraktrapport for Vattenfall.

Rapporten indeholder en beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af et kernenedsmeltningsuheld på Forsmark reaktor nr. 3. Ved beregningerne er antaget et 0,06% udslip af jod og cæsium svarende til et 0,1% udslip igennem filteret på Barsebäckværket. Beregningerne er foretaget med Risøs sprednings- og dosisberegningsprogram PLUCON4.

For at finde repræsentative vejr situationer er 2 års meteorologidata fra Forsmarkmasten analyseret. Som typisk vejr situation er valgt Pasquill D med en vindhastighed på 5 m/s og som ekstrem vejr situation er valgt Pasquill F med en vindhastighed på 2 m/s.

Marts 1987

Forskningscenter Risø, DK-4000 Roskilde, Danmark.

ISBN 87-550-1293-0

ISSN 0418-6435

Grafisk Service, Risø 1987

# INDHOLDSFORTEGNELSE

	side
1. INDLEDNING .....	5
2. METEOROLOGI .....	6
2.1. Indledning .....	6
2.2. Datamaterialet .....	6
2.3. Statistik over meteorologiske parametre ....	6
2.4. Deponeringsparametre .....	18
2.5. Blandingslagets højde .....	19
3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER .....	20
3.1. Bygningsafskærmning og filtrering .....	20
3.2. Vejreffekt .....	22
3.3. Beregning af organdoser .....	22
3.4. Den effektive udbredelseshøjde .....	26
4. UDSLIPSTØRRELSE OG TIDSFORLØB .....	27
5. KONSEKVENSER EFTER 0,06% UDSLIP FRA FORSMARK 3 ...	32
5.1. Individdoser .....	32
5.2. Kollektivdoser .....	41
6. REFERENCER .....	44
Bilag A: Meteorologistatiskik .....	47
Bilag B: Dosisomregningsfaktorer .....	51
Bilag C: Beregningsresultater .....	54

## 1. INDLEDNING

Denne rapport indeholder en beregning af stråledoser i omgivelserne forårsaget af et kernenedsmeltningsuheld på Forsmark reaktor nr. 3. Ved beregningerne er antaget et 0,06% udslip af jod og cæsium svarende til et 0,1% udslip igennem filteret på Barsebäckværket. (Barsebäckreaktorerne er på 1800 MW<sub>t</sub>, medens Forsmark reaktor nr. 3 er på 3020 MW<sub>t</sub>). Beregningen er foretaget med Risøs sprednings- og dosisprogram PLUCON4 (Thykier-Nielsen 1980).

I kapitel 2 er meteorologidata fra Forsmarkmasten fra perioden 23/4-1976 til 26/2-1978 opdelt efter vindretning, vindhastighed og stabilitet. Herefter følger en beregning af kumulativ frekvens udført med CRAC2. Som approksimation til 50% fraktilen bruges Pasquill D med en vindhastighed på 5 m/s, og som approksimation til 5% fraktilen bruges Pasquill F med en vindhastighed på 2 m/s. Endvidere er beskrevet hvilke deponeringsparametre og blandingslag, der er valgt.

I kapitel 3 er redegjort for de øvrige beregningsforudsætninger. Dvs., bygningsafskærmning, vejrefekt, dosisomregningsfaktorer og effektiv udbredelseshøjde.

I kapitel 4 er aktivitetsindholdet, udslipsmængderne, tidsforløbet af udslippet, udslippets varmeindhold og udslipshøjden gennemgået.

I kapitel 5 kommer så alle beregningsresultaterne. Der er regnet individueller doser med indendørs ophold i 24 timer, og ved normal færden i et år efter udslippet. Der er desuden regnet kollektivdoser i et antal udslipsretninger fra Forsmark efter 1 år startende med 24 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 døgns normalt ophold på stedet.

## 2. METEOROLOGI

### 2.1. Indledning

Med henblik på beregning af konsekvenserne af uheldsmæssige radioaktivitetsudslip fra kernekraftværket Forsmark er udført en undersøgelse af de meteorologiske forhold på denne plads.

Undersøgelsen har været begrænset til at omfatte data fra perioden 23/4-1976 til 26/2-1978 målt ved anlæggets meteorologimast.

### 2.2. Datamaterialet

Fra meteorologimasten på Forsmark foreligger timeværdier for perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. De data, der er målt for hver time, er:

Vindretning i højderne 12 m, 24 m og 96 m.

Vindhastighed i højderne 12 m, 24, 48 og 96 m.

Temperaturen i højderne 2, 12, 24, 48 og 96 m.

### 2.3. Statistik over meteorologiske parametre

#### 2.3.1. Bestemmelse af stabilitet

-----  
Stabilitetsforholdene er beregnet ud fra temperaturgradienten.

Beregningsen af temperaturgradienten kan foretages på følgende måder:

- 1) En simpel lineær temperaturgradient, hvor der kun tages hensyn til temperaturen i endepunkterne.
- 2) En lineær regression, hvor der ved beregningen af temperaturgradienten tages hensyn til temperaturen i endepunkterne og alle mellemliggende temperaturmålinger.

- 3) En potensfunktion af formen  $T(h)=a \cdot h^b$ , hvor konstanterne a og b findes ud fra temperaturerne i endepunkterne.
- 4) Samme potensfunktion som i 3), men konstanterne a og b findes nu som bedste fit til kurven, idet der tages hensyn til temperaturen i endepunkterne og alle mellemliggende temperaturmålinger.

Da der ikke er den store forskel på de 4 metoder, har vi aftalt med Vattenfall at bruge metode 1).

Stabiliteten kan derefter findes ud fra tabel 2.1., som stammer fra USAEC, 1972.

Beskrivelse	Kategori	T(100 m) - T(0 m)
meget ustabil	A	mindre end -1,9
ustabil	B	fra -1,9 til -1,7
let ustabil	C	fra -1,7 til -1,5
neutral	D	fra -1,5 til -0,5
let stabil	E	fra -0,5 til 1,5
meget stabil	F + G	større end 1,5

Tabel 2.1. Bestemmelse af stabilitetsklasser fra den vertikale temperaturgradient. (USAEC, 1972)



På fig. 2.1. er vist stabilitetens fordeling beregnet ud fra temperaturgradienten fra 2 til 96 m.

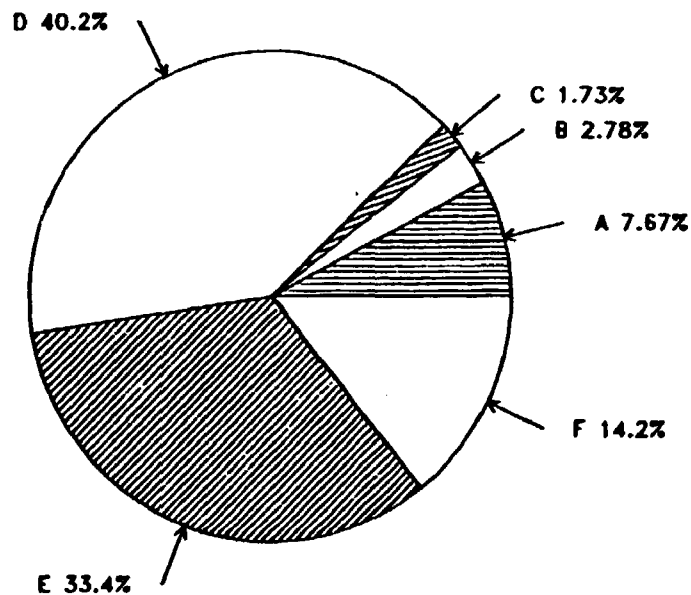


Fig. 2.1. Fordeling af atmosfærisk stabilitet for Forsmark i perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Temperaturgradient fra 2 til 96 m.

Svagheden ved denne metode er, at ikke alle relevante stabilitetsparametre indgår i klassifikationen. For et marint tempereret klima vil det typisk gælde at en statistik på grundlag af temperaturgradienten "hælder" for meget til den stabile side. Dvs., at der er for stor andel af stabile, specielt let stabile, situationer og for få ustabile og neutrale situationer. I betragtning af, at det væsentligste formål med nærværende undersøgelse er at give en oversigt over de mulige udslipssituationer for Forsmarkværket, skønnes usikkerheden ved den betragtede metode at være acceptabel.

### 2.3.2. Udslipsretning

På fig. 2.2. er fordelingen af udslipsretning vist. Det ses, at udbredelsesretningen  $180^\circ$  ( $165^\circ$ - $195^\circ$ ) er den mest sandsynlige med 14,3% af tiden.

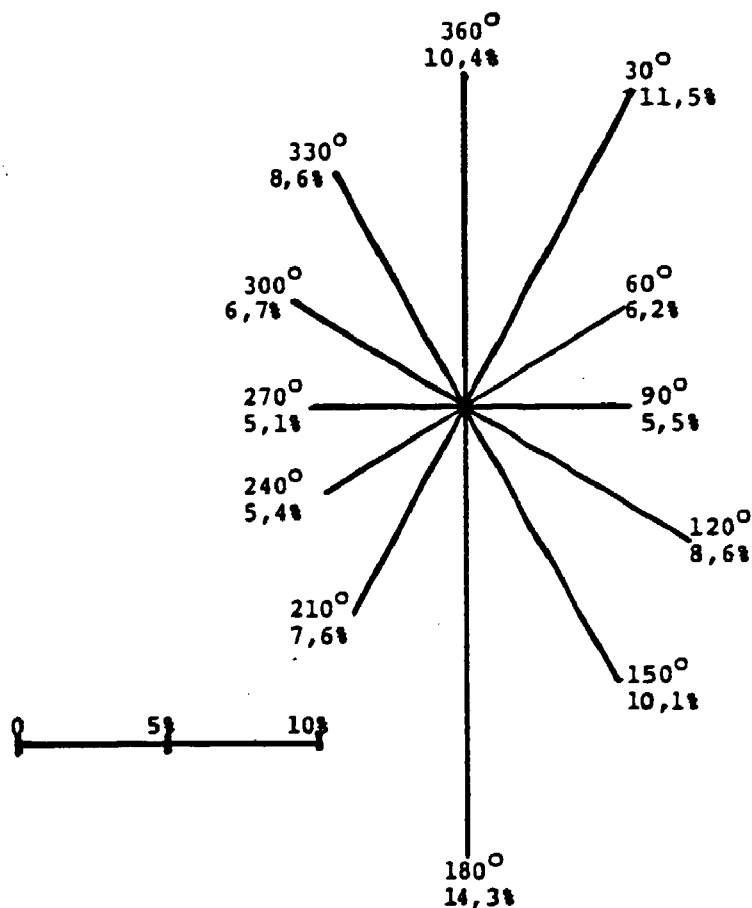


Fig. 2.2. Fordeling af udslipsretning for Forsmark i perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Der benyttes vindretning for højden 96 m.

I bilag A på tabel A1 er vist fordelingen af stabiliteterne i de enkelte udbredelsesretninger. Det ses, at kombinationen af stabilitet D og udslipsretning  $180^\circ$  ( $165^\circ$ - $195^\circ$ ) er den mest sandsynlige med 5,8% af tiden.

### 2.3.3. Vindhastighed og udslipsretning

-----

I bilag A på tabel A2 er vist vindhastighedens fordeling i de enkelte udslipsretninger. Det ses, at kombinationen af vindhastighed under 1 m/s og udslipsretning 180° (165°-195°) er den mest sandsynlige med 6,5% af tiden. I øvrigt ses af tabellen, at denne vindretning giver vindhastigheder signifikant lavere end ved andre retninger. Forklaringen er sandsynligvis, at nordenvind på det betragtede sted ofte er ledsaget af køligt vejr med stabil atmosfære.

I bilag A på tabel A3 ses fordelingen af stabilitet i de enkelte vindhastighedsintervaller for alle vindretninger under ét. Det ses, at kombinationen af stabilitet E og vindhastighed imellem 6 og 10 m/s er den mest sandsynlige med 15,2% af tiden. Af totalerne nederst ses, at middelvindhastigheden er ca. 4,4 m/s ved stabilitet A, B og C, ca. 6 m/s ved stabilitet D og E og 4,7 m/s ved stabilitet F.

### 2.3.4. Regn

-----

Det tilsendte datamateriale indeholder ingen oplysninger om regnfrekvenser og regnintensiteter. For at muliggøre en fraktilberegning med CRAC 2 (Ritchie, 1984) er det nødvendigt at kende regnfrekvensen. Det antages derfor, at fordelingen af regn mellem stabiliteter ved Forsmark er den samme som ved Risø. For Risø gælder følgende:

	A	B	C	D	E	F	Total
Regn	0,5%	1,5%	2,5%	9,5%	4,5%	2,5%	7,2%
Tørt	99,5%	98,5%	97,5%	90,5%	95,5%	97,5%	92,8%

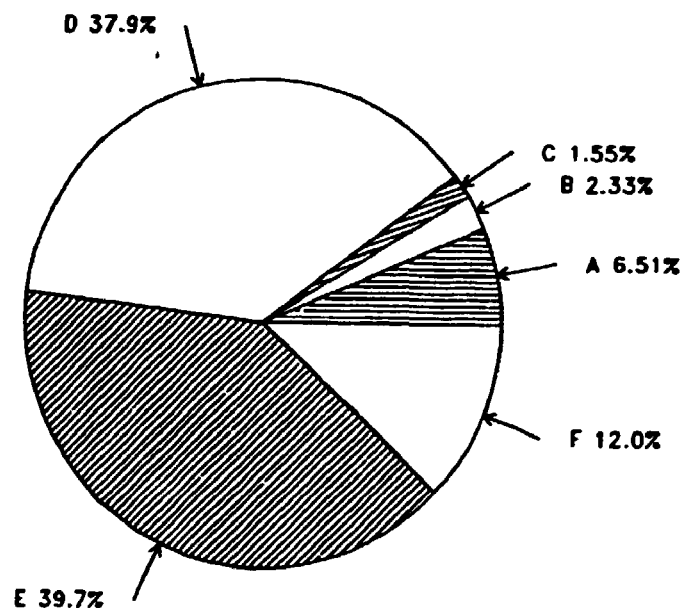
Regnhypigheden ved Risø er højere end ved Forsmark. I mangel af opgivelser fra Forsmark bruges middelværdien fra Bulltofta, Torslanda og Kalmar: 3,42%. Når der tages hensyn til stabilitetsfordelingen ved Forsmark kan regnfrekvensen herefter beregnes:

Stabilitet A :	$7,67\% \times 0,5\% \times 3,42\%/7,2\% = 0,0182\%$
- B :	$2,78\% \times 1,5\% \times 3,42\%/7,2\% = 0,0198\%$
- C :	$1,73\% \times 2,5\% \times 3,42\%/7,2\% = 0,0205\%$
- D :	$40,2\% \times 9,5\% \times 3,42\%/7,2\% = 1,8140\%$
- E :	$33,44\% \times 4,5\% \times 3,42\%/7,2\% = 0,7148\%$
- F :	$14,18\% \times 2,5\% \times 3,42\%/7,2\% = 0,1684\%$
$\Sigma$	2,7557%

Disse procenttal skal afrundes til et helt antal regnvejrssituationer. Ved denne afrunding er der sket en mindre afrundingsfejl således, at der ialt regnes med regnvejr i 2,67% af perioden og tørvejr i de resterende 97,33% af perioden. Regnen er opdelt på udslipsretninger som vist i bilag A på tabel A4.

#### 2.3.5. CRAC2-beregninger

CRAC2 kræver time-data for ét helt kalenderår startende den 1/1 kl. 00:00 og sluttende den 31/12 kl. 23:00. Det naturlige valg i den her betragtede situation er året 1977. På fig. 2.3. er vist stabilitetens fordeling beregnet ud fra temperaturgradienten fra 2 til 96 m for året 1977. Året 1977 afviger, som det ses af tabel 2.2. ikke significant fra perioden 23/4 -1976 til 26/2-1978 hvad fordelingen af stabiliteter angår.



**Fig. 2.3.** Fordeling af atmosfærisk stabilitet for Forsmark i 1977. Temperaturgradient fra 2 til 96 m.

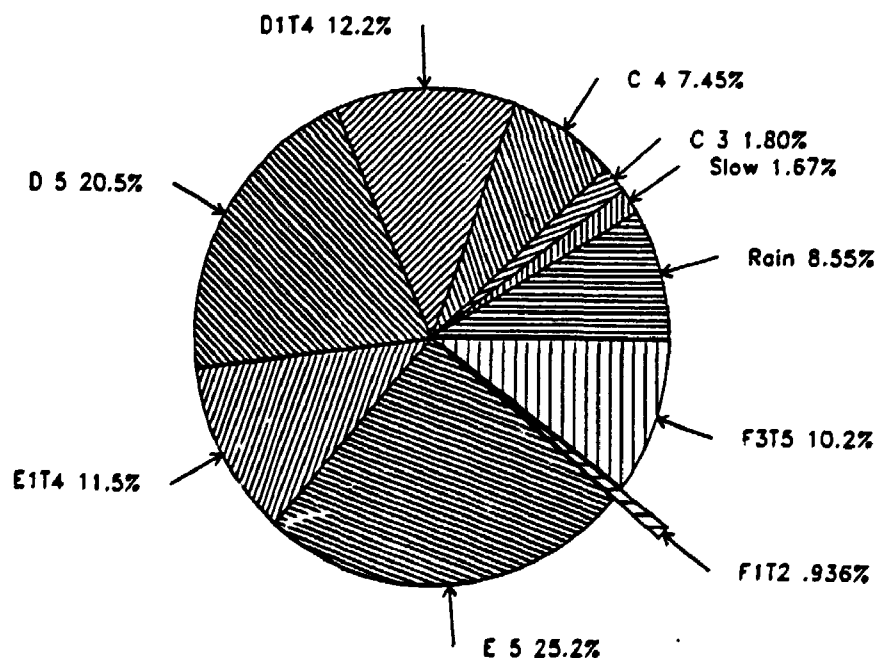
Stabilitet	Fordeling i perioden 23/4-1976 til 26/2-1978 (fig. 2.1.)	Fordeling i 1977 (Fig 2.3.)	Afvigelse
A	7,67 %	6,51 %	- 1,16 %
B	2,78 %	2,33 %	- 0,45 %
C	1,73 %	1,55 %	- 0,18 %
D	40,2 %	37,9 %	- 2,3 %
E	33,4 %	39,7 %	6,3 %
F	14,2 %	12,0 %	- 2,2 %

**Tabel 2.2.** For at muliggøre en CRAC2 beregning er det nødvendigt at begrænse meteorologidata til ét helt kalenderår. Som det ses i tabellen medfører dette kun en begrænset afvigelse i stabilitetsfordelingen.

Metoden i CRAC2 er nu at beregne doser under en række vejr-situationer (tidsserier af stabilitet, vindhastighed, -retning og nedbørsmængde), der er typiske for det betragtede år. Ideelt bør man "starte" hver eneste time året rundt og beregne fraktilerne på dette grundlag.

Det kan imidlertid vises, at det er tilstrækkeligt at beregne nogle få tilfælde indenfor hver af de meteorologiske situationer. Metoden er, at man opdeler de mulige kombinationer af meteorologiske parametre i et antal karakteristiske vejr-situationer således som vist i tabel 2.3. Ved at sørge for at beregningerne fordeler sig på alle disse situationer i overensstemmelse med den hyppighed, hvormed de forekommer, er man sikker på at få alle ekstreme situationer med, samtidig med at man får en god approksimation til sandsynlighedsfordelingen af doser i givne afstande. Erfaringen (Ritchie, 1984 og WASH-1400) viser, at 4 beregninger indenfor hver situation er tilstrækkeligt. Man kan da nøjes med 116 beregninger for ét år mod 8760, hvis alle situationer skulle gennemregnes.

Fordelingen af 1977 statistikken for Forsmark på meteorologiske situationer er vist på fig. 2.4.



**Fig. 2.4.** Fordeling af 1977 statistikken for Forsmark på meteorologiske situationer til brug for CRAC2. For at lette overblikket er de 29 vejr-situationer slået sammen til 10 på figuren. F.eks. omfatter E1T4 situationerne 20-23.

Vejrsituationer med regn	Øvrige vejsituationer
1: Det regner, når udslippet starter	13: Stabilitet A, B og C med vindhastighed under 3 m/s
2: Udslippet møder regn 0-8 km fra værket	14: - A, B og C - - over 3 m/s
3: - - - 8-16 - - -	15: - D - - under 1 m/s
4: - - - 16-24 - - -	16: - D - - fra 1 til 2 m/s
5: - - - 24-32 - - -	17: - D - - fra 2 til 3 m/s
6: - - - 32-40 - - -	18: - D - - fra 3 til 5 m/s
7: - - - 40-48 - - -	19: - D - - over 5 m/s
Vejrsituationer uden regn, hvor vindhastigheden falder fra mere end 3 m/s til mindre end 2 m/s	20: - E - - under 1 m/s
8: Vindhastigheden falder 0-16 km fra værket	21: - E - - fra 1 til 2 m/s
9: - - - 16-24 - - -	22: - E - - fra 2 til 3 m/s
10: - - - 24-32 - - -	23: - E - - fra 3 til 5 m/s
11: - - - 32-40 - - -	24: - E - - over 5 m/s
12: - - - 40-48 - - -	25: - F - - under 1 m/s
	26: - F - - fra 1 til 2 m/s
	27: - F - - fra 2 til 3 m/s
	28: - F - - fra 3 til 5 m/s
	29: - F - - over 5 m/s

**Tabel 2.3.** De forekommende vejsituationer opdeles i disse 29 vejsituationer. I hver situation udvælges 4 tilfælde, hvor der beregnes doser med CRAC2. ud fra vejsituationernes hyppighed kan fraktilerne herefter beregnes.

Det virker umiddelbart overraskende, at det regner i 8,55 % af vejr-situationerne, når det kun antages at regne i 2,67 % af tiden. Antallet af regnvejrssituationer er altså ca. 3,2 gange så højt, som antallet af timer hvori det regner. Dette kan kun skyldes en lav vindhastighed i timerne umiddelbart før regnen begynder. I det de foregående timer bliver en "regnvejrssituation", når regnen starter mindre end 48 km fra værket. Dette er illustreret med eksemplet i tabel 2.4.

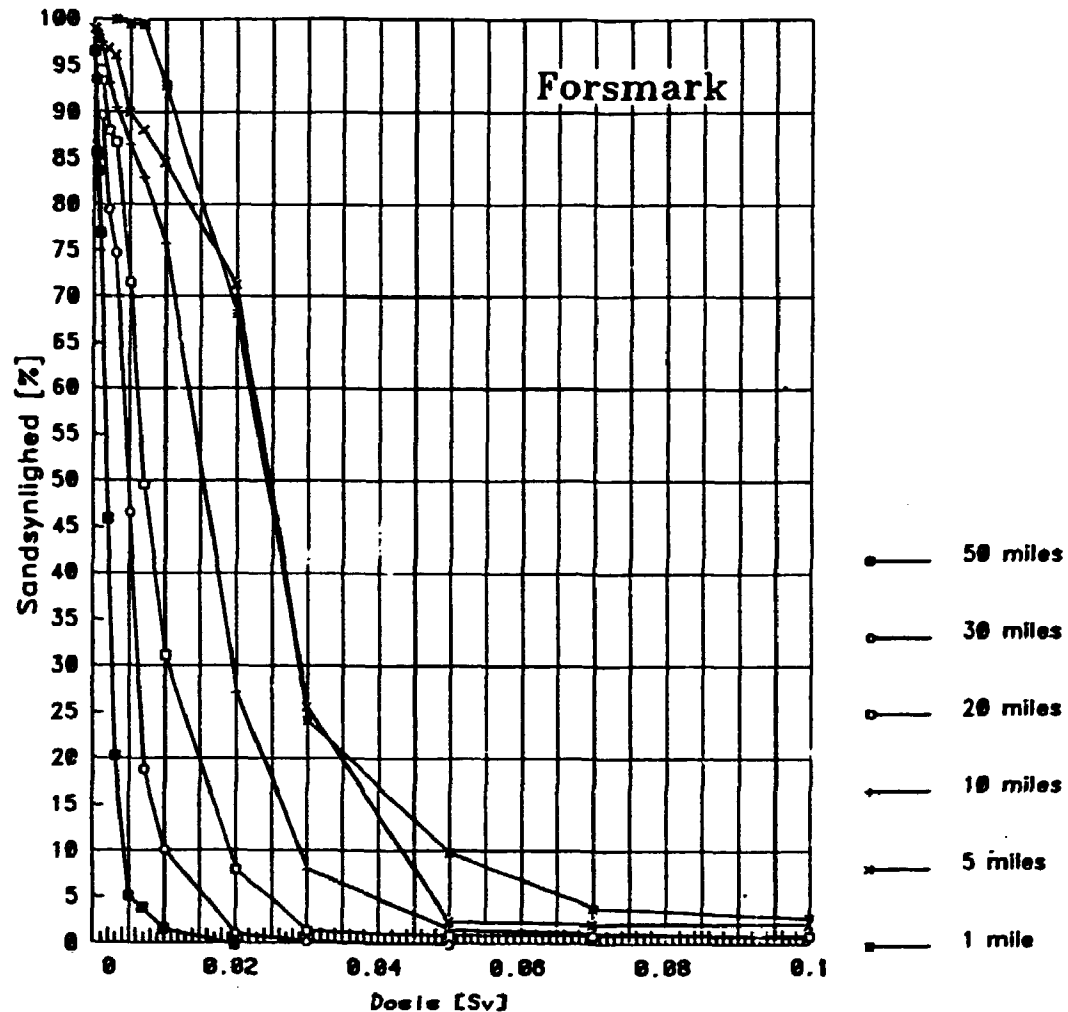
Udslip starter		Vindhastighed m/s	Vejrsituation
kl. x-3	ingen regn	4,2	7
kl. x-2	ingen regn	4,2	5
kl. x-1	ingen regn	4,2	3
kl. x	regn	4,2	1

**Tabel 2.4.** Eksempel, der viser hvordan de 3 foregående udslipstidspunkter bliver til "regnvejrssituationer", når det regner kl. x.

En øvre grænse for den gennemsnitlige vindhastighed før regn bliver:  $48 \text{ km} / 2,2 \text{ timer} = 6,1 \text{ m/s}$ . Dette gælder kun, hvis regntimerne er spredt helt jævnt over året. Da der også vil være en del situationer med regnperioder på mere end en times varighed, bliver den gennemsnitlige vindhastighed før regn mindre end 6,1 m/s.

For at udføre en fraktilberegning er det nødvendigt at antage et udslip. Her er brugt 2. periode af TC-SV-uheldet på Ringhals 1. Dvs. et 2 timers udslip med 50% af ædelgasserne, 0,5 % af jod og Cs, 1,7 % af Te og Sb, 1,2 % af Sr og 0,5 % af Ru, Rh og Tc fra en reaktor, der er 25 % mindre end Forsmark 3. Dette udslip begynder ved starten af hver af de 116 udvalgte vejr-situationer. Beregningen er udført for akutte knoglemarvsdoser.





**Fig. 2.5.** Sandsynligheden for akutte knoglemarvsdoser større end eller lig de viste doser i seks forskellige afstande fra værket (1 mile = 1,6093 km)

Det der har interesse ved fraktilberegningen er sandsynligheder, afstande og vejr-situationer. De beregnede doser er kun et hjælpemiddel til at finde de vejr-situationer, der svarer til bestemte fraktiler i bestemte afstande. Dvs., det har ikke den store betydning, om udslippet er lidt større eller mindre, eller om der regnes på et andet organ end knoglemarven.

Resultatet af beregningerne bliver de på fig. 2.5. viste kurver. Kurverne viser, sandsynligheden for at dosis er større end eller lig en bestemt værdi i seks forskellige afstande fra værket. Af figuren ses f.eks., at der i afstanden 1 mile er 50 % sandsynlighed for doser større end eller lig 0,024 Sv og 5 % sandsynlighed for doser større end eller lig 0,066 Sv.

På fig. 2.6. er vist 5 % og 50 % fraktilerne som funktion af afstanden. 50 % fraktilen vokser op til et maksimum 3 miles fra værket på ca. 0,026 Sv og falder derefter til ca. 0,002 Sv 50 miles fra værket. 5 % fraktilen giver doser, der er ca. 3 gange så høje som 50 % fraktilen.

På fig. 2.6. er tillige vist doserne i to vejr-situationer. Pasquill D med en vindhastighed på 5 m/s, som giver en god approk-simation af 50 % fraktilen på alle afstande fra 5 til 50 miles.

Pasquill F med en vindhastighed på 2 m/s svarer til 5 % fraktilen fra 20 til 50 miles fra værket.

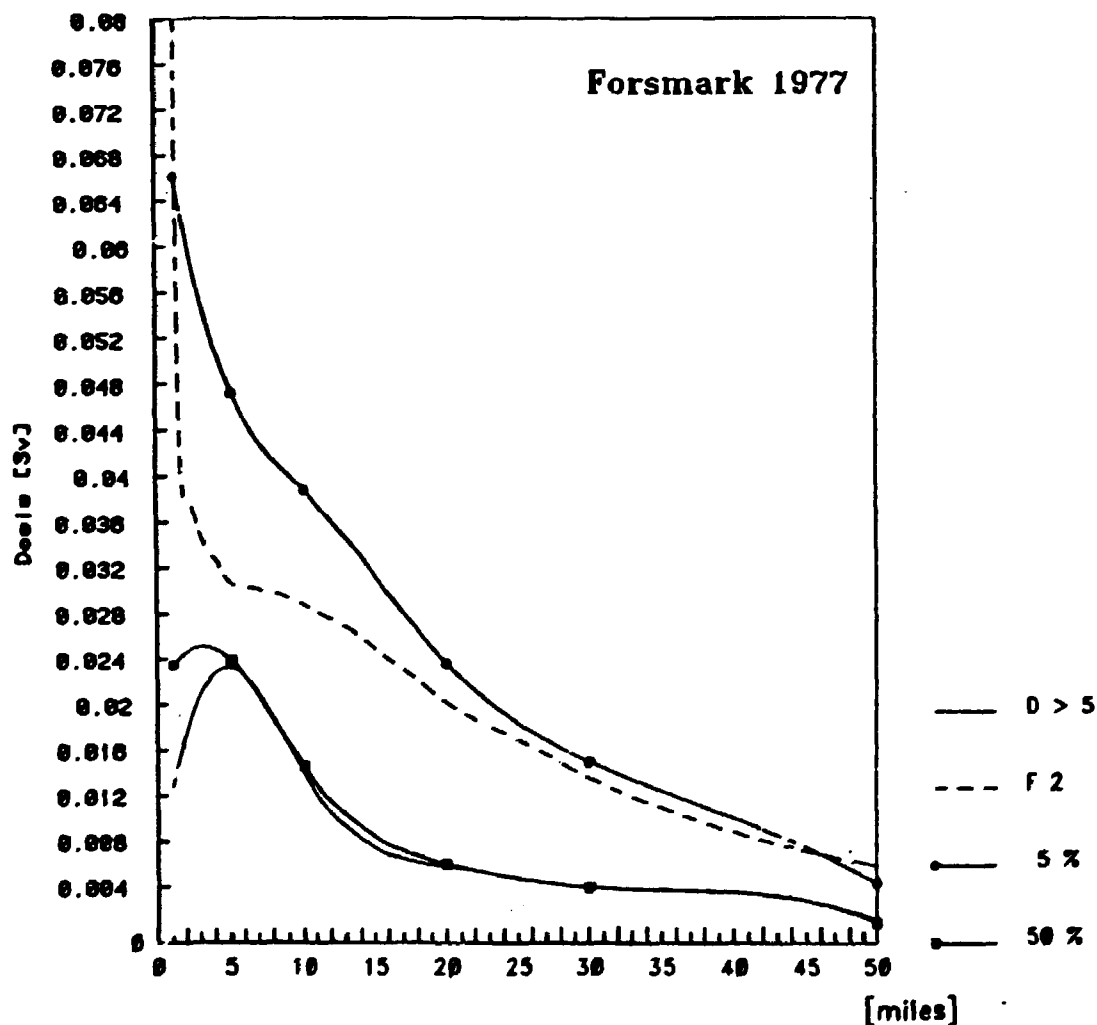


Fig. 2.6. 5 % og 50 % fraktilerne som funktion af afstanden fra værket. Desuden vejr-situationerne Pasquill D med vindhastighed på 5 m/s og Pasquill F med vindhastighed på 2 m/s.

#### 2.4. Deponeringsparametre

Materialer i atmosfæren, partikulære eller luftformige, kan afsættes på overfladen ved forskellige processer. Hele dette kompleks af processer kaldes bekvemt for deponering. Deponering afhænger af tre typer parametre. For det første parametre, der beskriver det materiale, der afsættes. For det andet meteorologiske parametre beskrivende temperatur, vindhastighed, fugtighedsprocent m.m. For det tredje parametre, der beskriver overfladen, f.eks. ruhedslængder, vegetationstype og -densitet m.m.

Når man skal diskutere deponeringsparametre, er det hensigtsmæssigt at opdele deponeringsprocesserne i forskellige grupper efter

- materialetyper (luftarter, partikler)
- meteorologiske forhold (tør- og våddeponering)
- overfladetyper (ru og glatte overflader).

Alle overflader betragtes som ru overflader (bevoksede overflader, græsmarker, kornmarker etc.), idet der her fås de største deponeringsparametre.

For tørdeponering i forbindelse med et hypotetisk reaktoruheld er det især nødvendigt at beskæftige sig med uorganisk jod og methyljodid. På baggrund af mange eksperimentelle bestemmelser af tørdeponeringsparametre for uorganisk jod kan det konkluderes, at en typisk værdi kan sættes til 0,7 cm/s, og at det vil være meget usandsynligt, at værdien vil overstige 1 cm/s. For methyljodid er værdien ca. 100 gange mindre end for uorganisk jod (Heinemann 1980 og Sehmel 1980). I PLUCON4 antages, at methyljodid ikke deponeres.

Ovenstående tørdeponeringsparameter på 1 cm/s kan kun bruges ved stabilitet A, B, C og D for vindhastigheder større end 3 m/s. Ved mindre vindhastigheder og ved stabilitet E og

F overstiger denne deponeringsparameter det maksimalt mulige (Thykier-Nielsen 1982). Tørdeponeringsparametre for det øvrige udslip fås fra Roed 1981. De ved beregningerne brugte tørdeponeringsparametre ses på tabel 2.5.

Stabilitet	Vindhastighed	Tørdeponeringsparameter	
		Uorganisk jod	Øvrigt udslip
D	5 m/s	1 cm/s	0,2 cm/s
F	2 m/s	0,2 cm/s	0,2 cm/s

**Tabel 2.5.** De valgte tørdeponeringsparametre som funktion af Pasquill stabilitet og vindhastighed. (Øvrigt udslip omfatter ikke ædelgasser og methylijodid, der ikke deponeres).

Ved udslippet kommer kun en del af den deponerede jod fra jod udslippet, medens resten dannes ved henfald af Tellur. Dvs. den effektive tørdeponeringsparameter for jod ved stabilitet D bliver mindre end 1 cm/s.

I regnvejrssituationen med intensiteten på 0,5 mm/time er våddeponeringsparameteren  $l_g$  sat til  $3 \cdot 10^{-5}/s$  (Engelmann, 1968).

### 2.5. Blandingslagets højde

For stabilitet D er antaget et blandingslag i højden 500 m og for stabilitet F i højden 200 m (Thykier-Nielsen, 1980). Dette blandingslag kan ikke gennemtrænges af udslippet, hvis udbredelse dermed begrænses til området mellem blandingslaget og jordoverfladen.

### 3. ØVRIGE BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER

#### 3.1. Bygningsafskærmning og filtrering

##### Afskærningsfaktorer under skypassage (indendørs)

-----

I beregninger af dosis fra deponeret aktivitet på overflader anvendes dosis i én meters afstand over en plan flade af uendelig udstrækning og med jævnt fordelt overfladeaktivitet som referencedosis. Den reelle dosis vil altid være mindre end referencedosis på grund af forskellige reduktionsfaktorer, såsom afskærmning fra omkringsliggende bygninger og de bygninger eller transportmidler, man opholder sig i.

Den afskærmende virkning af en bygning kan udtrykkes ved en afskærningsfaktor, som er forholdet mellem dosis, der modtages henholdsvis inde i og udenfor bygningen.

For indendørs ophold fås følgende afskærningsfaktorer fordelt på hustyper ved Forsmark:

	Indendørs	
	Skypassage	Deposition
5% d) flerfamiliehuse	0,3 <sup>b)</sup>	0,03 <sup>a)</sup>
15% d) parcelhuse, mursten	0,6 <sup>c)</sup>	0,1 <sup>a)</sup>
80% d)træhuse	0,9 <sup>b)</sup>	0,3 <sup>b)</sup>
Gennemsnitlige afskærningsfaktorer	0,825	0,257

Tabel 3.1. Afskærningsfaktorer ved indendørs ophold. Der er brugt følgende referencer a) Hedemann, 1984 tabel 5 og 6 traditionelt, b) Statens Strålskyddsinstitut, 1979, Vol. 5, tabel 4.3, c) WASH-1400 og d) personlig kommunikation med länsstyrelsen i Uppsala 8/7-1986.

### Filterfaktor

-----

Huse virker som filter mod den forurenede luft udendørs, idet partikler hænger fast i dør- og vindueskarme i stedet for at trænge med luftskiftet ind i huset. Den herved opnåede reduktion i inhalationsdoserne kaldes filterfaktoren.

Filterfaktoren for indendørs ophold sættes til 0,33, som nævnt i Miljøstyrelsen 1984.

### Opholdstider

-----

For at kunne tage hensyn til at personer opholder sig såvel udendørs som indendørs efter skypassage er det nødvendigt at anvende en tidsmidlet afskærningsfaktor for deponeret aktivitet.

I mangel af svenske tal anvendes amerikanske (Aldrich, 1978), her opgives følgende midlede opholdstider:

Udendørs:	6% af tiden
Transport:	5% af tiden
Bolig, arbejde og skole:	89% af tiden

Ved transport indregnes en faktor 0,5 som følge af transportmidlets egen afskærmende virkning (Lauridsen 1981).

### Afskærningsfaktor efter skypassage (normal færden)

-----

Herefter kan den tidsmidlede afskærningsfaktor for deponeret aktivitet beregnes:

Udendørs:	$0,06 \cdot 1$	= 0,06
Transport:	$0,05 \cdot 0,5$	= 0,025
Bolig, arbejde og skole:	$0,89 \cdot 0,257$	= 0,228
Ialt		0,313

### 3.2. Vejreffekt

Aktivitet, der er deponeret udendørs, vil som følge af vejrlig og specielt regn forsvinde hurtigere, end den fysiske halveringstid betinger. Der er tale om en korttidseffekt som følge af nedbør, der falder samtidig med eller i de første par dage efter deponeringen, samt om en langtidseffekt.

H.J. Gale angiver en halveringstid på ca. 227 dage for korttidseffekten og ca. 100 år for langtidseffekten (Gale, 1963).

Herefter bliver reduktionsfaktoren, hvor  $t$  angives i år:

$$0,63 \cdot \exp(-1,13t) + 0,37 \cdot \exp(-0,0075t),$$

### 3.3. Beregning af organdoser

Dosis til de enkelte organer beregnes som summen af de 3 dosiskomponenter gammadosis fra skypassage og deponeret aktivitet og indåndingsdosen.

#### 3.3.1. Knoglemarv

-----  
Det antages almindeligvis (WASH-1400), at skade på knoglemarven er den vigtigste årsag til tidlig død på grund af store strålingsdoser til hele kroppen. Det vil sige, at strålingsskade af lunger og mave-tarmkanal sandsynligvis ikke vil være dødbringende, medmindre knoglemarven også beskadiges. For knoglemarvsdoser er tærskelværdien, hvorunder der ikke kan ske tidlige dødsfald ved minimal behandling 1 Sv. Den akutte knoglemarvsdosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og indåndingsdosen integreret til den 30. dag. Størstedelen af dosis til knoglemarven modtages indenfor den første måned.

### 3.3.2. Lunger

-----  
Radioaktive stoffer, som tilhører aktiniderne (som inkorporeres i lymfeknuderne), lanthangruppen og i mindre grad rutheniumgruppen giver det største bidrag til lungedosis. Mellem 50% og 80% af den inhalerede dosis vil være absorberet indenfor et år. Dosis til lungerne beregnes derfor som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden og den interne dosis til lungerne fra inhalation integreret over et år.

For lungedoser er der i WASH-1400 (fig. VI 9-3) vist sammenhængen mellem sandsynligheden for dødsfald indenfor et år og den modtagne lungedosis. En lungedosis på 50 Sv giver en dødsrisiko på 2%, og en lungedosis på 40 Sv giver en dødsrisiko på 1%.

Da risikoen for akut skade afhænger af hastigheden, hvormed lungedosis akkumuleres, vil denne beregningsmetode overvurdere dosis.

### 3.3.3. Skjoldbruskkirtel

-----  
I-131 vil bidrage med ca. 2/3 af dosis til skjoldbruskkirtelen. Da I-131 har en halveringstid på 8 dage, og de andre radioaktive jodisotoper, der kommer i betragtning, har en halveringstid på mindre end en dag, vil størstedelen af inhalationsdosis til skjoldbruskkirtelen være absorberet i løbet af en måned. Ifølge WASH-1400 er tærskelværdien for akutte skader som følge af skjoldbruskkirteldoser 250 Sv.

Dosis beregnes som summen af gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og den interne dosis til skjoldbruskkirtelen fra indåndet aktivitet integreret over 1 uge.

Dosis fra inhalation er beregnet for børn, der er den kritiske gruppe, ved at gange dosisfaktorerne for voksne med 2 (Cedervall, 1985).



### 3.3.4. Hele kroppen

-----

For at opgøre de mulige langtidskonsekvenser af bestråling af hele kroppen beregnes det såkaldte committede effektive dosisækvivalent. Dette beregnes som summen af gammadosis fra skyppassage, gammadosis fra deponeret aktivitet integreret over opholdstiden, og det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation. Det committede effektive dosisækvivalent fra inhalation ( $H_{50}$ ) er defineret som:

$$H_{50} \equiv \sum_i W_{T,i} \cdot O_{50,i}$$

hvor

$O_{50,i}$  = 50 års committed dosisækvivalent for organ i.

$W_{T,i}$  = Vægtfaktor for organ i.

Summationen foretages for gonader, bryst, knoglemarv, lunger, skjoldbruskkirtel, skelet og 5 andre organer.

Data for,  $O_{50}$  og  $W_T$  er taget fra ICRP 1979.

### 3.3.5. Dosisomregningsfaktorer

-----  
I bilag B på tabel B1 er vist de i beregningerne brugte omregningsfaktorer fra inhalation til henholdsvis knoglemarvs-, lunge-, skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis.

For de med V mærkede isotoper har Vattenfall (Cedervall, 1985) opgivet nye tal, som er indsat i programmet.

For de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, tabel D-2 til beregning af knoglemarvs-, lunge-, og skjoldbruskkirteldosis. Data til faktorerne til beregning af helkropsdosis er for de med W mærkede isotoper fra Hedemann, 1980, ICRP, 1979 og NRPB 1978.

PLUCON4 indeholder ingen tilsvarende dosisomregningsfaktorer til beregning af gammadoser fra skypassage og deponeret aktivitet. I stedet indeholder programmet en tabel med gammaudbytter opdelt på 8 energigrupper for hver enkelt isotop. Ved hjælp af disse udbyttetal kan gammadoser i luft beregnes. For at få doser i organer er det nødvendigt at tage hensyn til selvafskærmningen i kroppen. Her er brugt de selvafskærningsfaktorer, som er vist i bilag B på tabel B2.

Ved at beregne koncentration af deponeret aktivitet og dosis-hastigheden for hver enkelt isotop kan selvafskærningsfaktorerne i bilag B på tabel B3 for deponeret aktivitet beregnes.

Gammadosis fra skypassage beregnes ved at integrere dosisbidragene fra hele den radioaktive sky. Dosis afhænger således ikke kun af luftkoncentrationen det pågældende sted. Der eksisterer derfor ikke simple omregningsfaktorer mellem luftkoncentrationen et givet sted og gammadosis fra skypassage.

### 3.4. Den effektive udbredelseshøjde

Den effektive udbredelseshøjde beregnes som summen af skorstenshøjden og varmeløftet. Løftet på grund af varmen i udslippet beregnes ved hjælp af Brigg's formel (WASH-1400). Der ses bort fra varmeafgivelsen ved radioaktive henfald og fra fortætningsvarmen fra den ledsagende damp. Ved stabilitet D er formelen:

$$H = h + 104 \cdot p^{0,6}/u$$

og ved stabilitet F er formelen:

$$H = h + 55,76 \cdot \sqrt[3]{p/u}$$

hvor: H er den effektive udbredelseshøjde i m.

h er udslipshøjden i m.

p er energifrigørelseshastigheden i MW.

u er vindhastigheden i m/s.

Idet h er 66 m og p tages fra kapitel 4, fås de effektive udbredelseshøjder, der er brugt ved disse beregninger, som vist i tabel 3.2.

Stabilitet	Vindhastighed	1. periode p = 0 MW	2. periode p = 19,5 MW
D	5 m/s	66 m	190 m
F	2 m/s	66 m	185 m

Tabel 3.2. Den effektive udbredelseshøjde som funktion af Pasquill stabilitet og vindhastighed.

#### 4. UDSLIPSTØRRELSE OG TIDSFØRLØB

Der betragtes et uheld på Forsmark reaktor nr. 3.

På grund af øget tryk i indeslutningen åbner en sikkerhedsventil 70 000 s efter nedlukning. Efter 86 500 s koger vandet i en 1000 m<sup>3</sup> vandtank. Denne damp følger herefter udslippet frem til 106 000 s, hvor udslippet afsluttes.

Reaktoreffekten er 100% frem til uheldets start, og herefter resteffekt. Udslippets forløb deles op i to perioder med konstant udslip i de enkelte perioder, som vist på tabel 4.1.

	Tid fra nedlukning s
Start 1. periode:	70.000
Varighed 16.500 sek (4 1/2 time)	
Start 2. periode:	86.500
Varighed 19.500 sek (5 1/2 time)	
Ophør 2. periode:	106.000

Tabel 4.1. Uheldet opdeles i 2 udslipsperioder.

Udslipsprocenterne er som vist i tabel 4.2. Idet Antimon antages at have samme udslipsprocent som Tellur, og Rhodium og Technetium antages at have samme udslipsprocent som Ruthenium.

Isotopgruppe	1. periode %	2. periode %	Ialt %
Ædelgas og methyliodid	70	30	100
Jod og Cs	0,0275	0,0325	0,06
Te og Sb	0,0275	0,0325	0,06
Sr og Ba	0,92E-4	1,08E-4	2E-4
Ru, Rh og Tc	0,46E-4	0,54E-4	1E-4

Tabel 4.2. Udslipsprocenter.

Ved hjælp af programmet HMP, der både kan beregne fissionsproduktindhold, som BEGAFIP og transuranindhold, beregnes inventaret i kernen ved start- og sluttidspunktet af de to perioder. Herefter beregnes de to udslip ved hjælp af formlen:

$$p \cdot (M1-M2)/\ln \left( \frac{M1}{M2} \right)$$

hvor

p er udslipsprocenten

M1 er aktiviteten ved starten af udslipsperioden

M2 er aktiviteten ved slutningen af udslipsperioden

Det således beregnede udslip ses i tabel 4.3. På figuren er desuden vist aktiviteten ved nedlukning og det samlede udslip

i procent af nedlukningsaktiviteten. På grund af henfald før og under udslippet bliver disse udslipsprocenter mindre end procenterne i tabel 4.2. Bemærk at jodaktiviteten på nedluk-tidspunktet er opdelt i 99,3% uorganisk jod (f.eks. CsI) og 0,7% organisk jod, dvs. methyljodid.

Ud over de på tabel 4.3 viste isotoper indgår Y90, Y91, Rh106 og La140 i beregningerne, idet der regnes med følgende henfald til radioaktive datterprodukter:

Kr85m	→	Kr85	Tel29m	→	Tel29
Kr88	→	Rb88	Tel31m	→	Tel31
Rb89	→	Sr89	Tel31	→	I131u
Sr90	→	Y90	Tel32	→	I132u
Sr91	→	Y91	I131u	→	Xel31m
Mo99	→	Tc99m	I133u	→	Xel33
Ru105	→	Rh105	I135u	→	Xel35
Ru106	→	Rh106	Xel38	→	Cs138
Sb127	→	Tel127	Ba140	→	La140
Sb129	→	Tel129m			

Alle andre henfald antages at ske til isotoper, der ikke har interesse for dosisberegningerne.

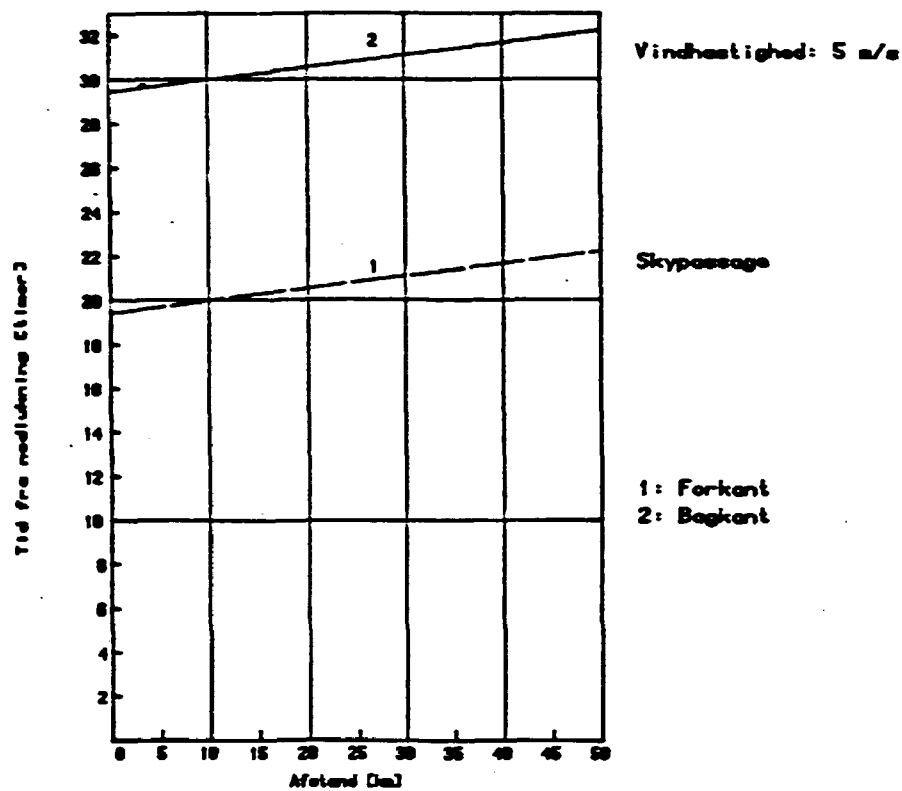
Energiindholdet i udslippet sættes konstant i den anden periode. Der er valgt middelværdien af start og slutværdien af den anden periode.

1. periode 0 MWh/h
2. - 19,5 -

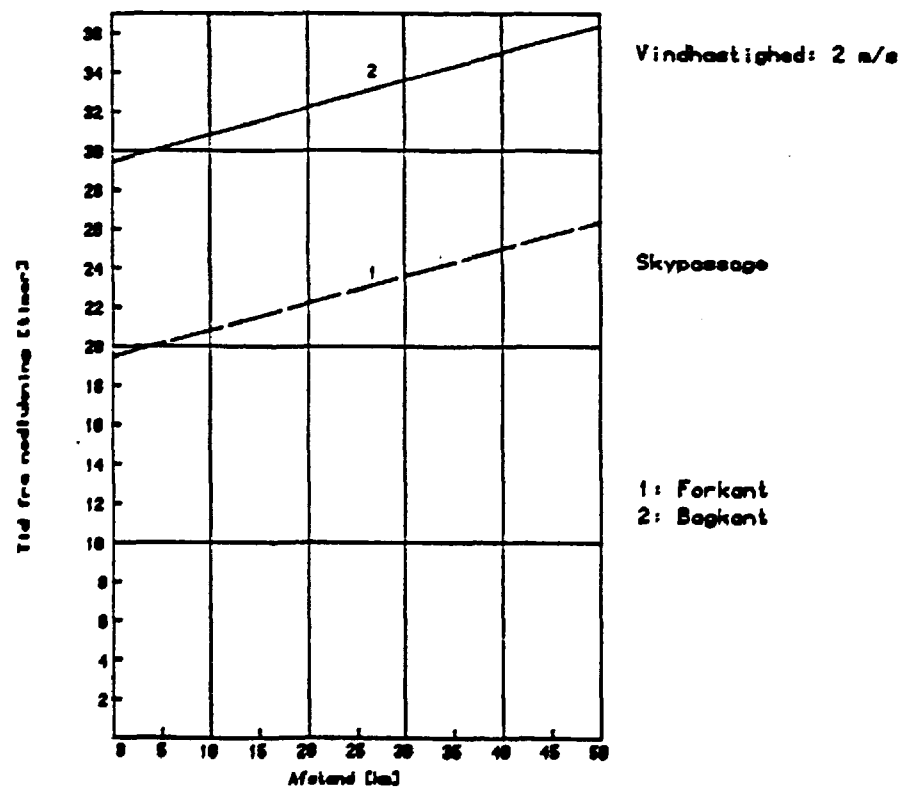
Isotop	Aktivitet ved nedlukning TBq	Udslip i 1. periode TBq	Udslip i 2. periode TBq	Samlet udslip TBq	Samlet udslip i % af nedlukningsaktivitet
Kr 83m	3,80E5	1,57E3	1,67E2	1,73E3	4,56E-1
Kr 85m	8,80E5	2,15E4	4,27E3	2,58E4	2,93
Kr 85	3,00E4	2,10E4	9,00E3	3,00E4	1,00E2
Kr 87	1,60E6	9,39	2,84E-1	9,67	6,05E-4
Kr 88	2,20E6	7,40E3	9,34E2	8,33E3	3,79E-1
Rb 88	2,40E6	3,12	1,09	4,21	1,75E-4
Rb 89	3,20E6	5,30E-22	1,89E-27	5,30E-22	1,66E-26
Sr 89	3,10E6	2,82	3,30	6,11	1,97E-4
Sr 90	2,40E5	2,21E-1	2,59E-1	4,80E-1	2,00E-4
Sr 91	4,00E6	7,51E-1	6,11E-1	1,36	3,40E-5
Mo 99	5,50E6	2,01	2,24	4,26	7,74E-5
Tc 99m	4,80E6	1,89	2,11	4,00	8,33E-5
Ru103	4,10E6	1,86	2,17	4,03	9,82E-5
Ru105	2,50E6	3,89E-2	2,11E-2	6,00E-2	2,40E-6
Ru106	1,20E5	5,51E-2	6,47E-2	1,20E-1	9,98E-5
Rh105	2,30E6	7,83E-1	8,36E-1	1,62	7,04E-5
Sb127	2,50E5	5,94E1	6,76E1	1,27E2	5,08E-2
Sb129	8,80E5	7,58	4,06	1,16E1	1,32E-3
Te127m	3,10E4	8,53	1,01E1	1,86E1	6,00E-2
Te127	2,50E5	6,45E1	7,43E1	1,39E2	5,55E-2
Te129m	1,50E5	4,07E1	4,79E1	8,85E1	5,90E-2
Te129	8,20E5	3,49E1	3,55E1	7,04E1	8,58E-3
Te131m	4,80E5	8,02E1	8,45E1	1,65E2	3,43E-2
Te131	2,40E6	1,12E1	1,18E1	2,31E1	9,61E-4
Te132	4,10E6	9,29E2	1,05E3	1,98E3	4,83E-2
I 131u	2,78E6	7,15E2	8,31E2	1,55E3	5,56E-2
I 131o	1,96E4	1,28E4	5,41E3	1,82E4	9,30E1
I 132u	4,07E6	9,26E2	1,05E3	1,97E3	4,85E-2
I 132o	2,87E4	1,66E4	6,81E3	2,34E4	8,16E1
I 133u	5,96E6	8,15E2	8,16E2	1,63E3	2,74E-2
I 133o	4,20E4	1,46E4	5,31E3	1,99E4	4,75E1
I 134u	6,65E6	3,16E-4	8,57E-6	3,24E-4	4,87E-9
I 134o	4,69E4	5,66E-3	5,58E-5	5,72E-3	1,22E-5
I 135u	5,66E6	1,57E2	1,09E2	2,66E2	4,71E-3
I 135o	3,99E4	2,82E3	7,12E2	3,53E3	8,84
Xe131m	3,90E4	2,73E4	1,17E4	3,89E4	9,98E1
Xe133m	1,80E5	1,15E5	4,74E4	1,62E5	9,00E1
Xe133	6,00E6	4,06E6	1,72E6	5,78E6	9,63E1
Xe135m	1,10E6	5,91E4	1,49E4	7,40E4	6,73
Xe135	1,80E6	1,20E6	3,97E5	1,60E6	8,88E1
Xe138	5,20E6	3,33E-20	1,62E-26	3,33E-20	6,40E-25
Cs134	3,70E5	1,02E2	1,20E2	2,22E2	5,99E-2
Cs136	8,70E4	2,28E1	2,66E1	4,94E1	5,68E-2
Cs137	3,10E5	8,52E1	1,01E2	1,86E2	6,00E-2
Cs138	5,60E6	3,10E-9	8,33E-12	3,11E-9	5,56E-14
Ba140	5,40E6	4,73	5,49	1,02E1	1,89E-4

Tabel 4.3. Aktivitet ved nedlukning, udslip i de 2 perioder af uheldet og samlet udslip i procent af nedlukningsaktivitet. Jodisotoperne er opdelt i uorganisk (u) og organisk (o) jod.

På fig. 4.1. er vist tidsforløbet for skypassage som funktion af centerlinjeafstanden for vindhastigheden 5 m/s, der bruges ved stabilitet D. Fig. 4.2. viser tilsvarende tidsforløbet for vindhastigheden 2 m/s, der bruges ved stabilitet F.



**Fig. 4.1.** Tidsforløb for skypassage med vindhastighed 5 m/s, som bruges ved stabilitet D.



**Fig. 4.2.** Tidsforløb for skypassage med vindhastighed 2 m/s, som bruges ved stabilitet F.



## 5. KONSEKVENSER EFTER 0,06% UDSLIP FRA FORSMARK 3

I dette kapitel er redegjort for konsekvenserne i form af individdoser i omgivelserne ud til 50 km afstand såvel som for kollektivdoser ud til 72 km (for at tage befolkningskoncentrationen omkring Uppsala og Gävle med i betragtning).

Det skal bemærkes, som det er diskuteret i Thykier-Nielsen 1980, at modellen beregner doser med rimelig nøjagtighed ud til 20 - 30 km fra kilden, dvs. indenfor en faktor 2 - 3, men at man på længere afstande får en overvurdering af doserne, som på 50 km kan være op til en faktor 10 over den egentlige værdi.

For kollektivdosernes vedkommende skal det bemærkes, at nøjagtigheden også afhænger af det anvendte demografiske materiale. Store befolkningskoncentrationer beliggende på større afstande (Uppsala og Gävle) kan således give urealistisk store bidrag til kollektivdosen, hvis uheldet sker i den pågældende retning.

### 5.1. Individdoser

#### 5.1.1. Pasquill D, 5 m/s, ingen regn

-----  
På figurerne, der viser individdosis under skyens centerlinie, dvs. maksimaldosis i den pågældende afstand, er det valgt at bruge en logaritmisk inddeling af abcissen, der viser afstanden fra udslipspunktet. Herved lægges vægt på at illustrere forholdene nærmest værket, hvor doserne er størst, og som derfor har størst interesse.

De 24 timer er regnet fra udslipstidspunktet, dvs. 19 1/2 time inde i uheldsforløbet.

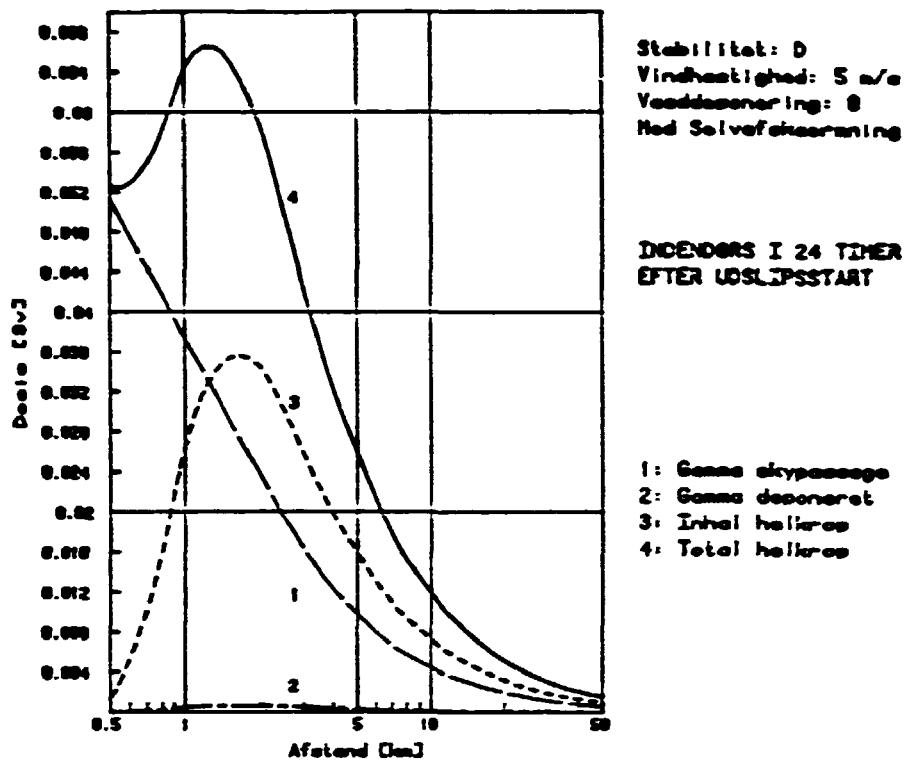
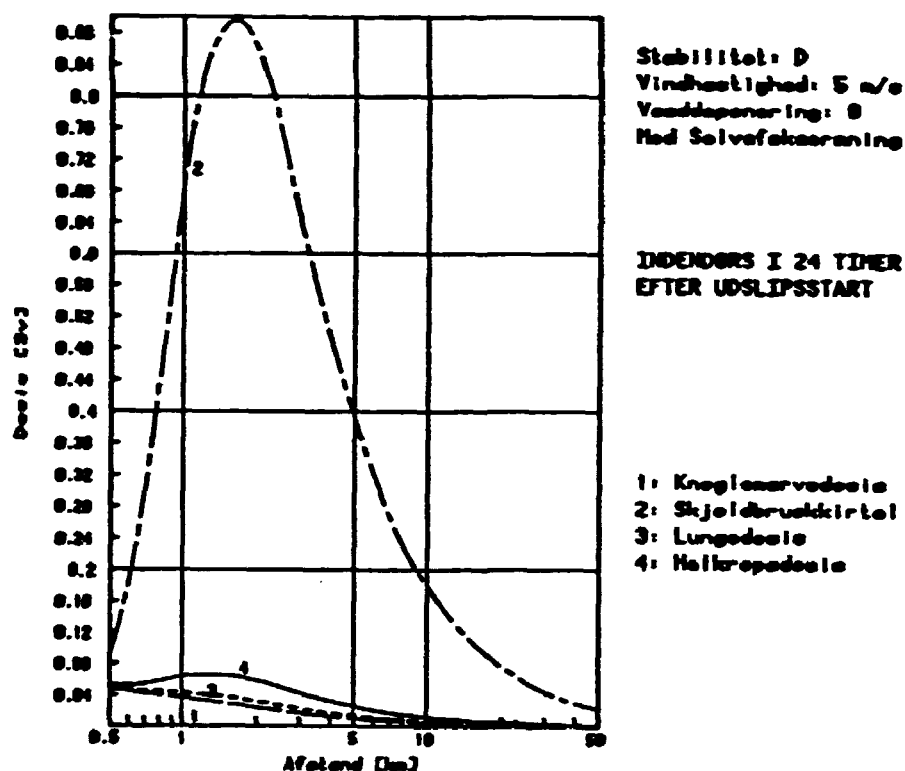


Fig. 5.1. Total helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter.

På figur 5.1. er vist gammadosis fra skypassagen, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsbidraget til helkropsdosis, samt summen af de tre komponenter.

På grund af varmeindholdet i udslippet løftes dette så højt, at skyens indhold af radioaktivitet først når jordoverfladen i en afstand af ca. 700 m fra værket. Der er altså ingen aktivitet at indånde, og der sker kun en meget ringe deponering. Disse to dosiskomponenter vokser først op til maksimum på en afstand af ca. 2 km.



**Fig. 5.2.** Organdoser ved 24 timers indendørs ophold.

På figur 5.2. er vist organdoserne til knoglemarv, skjoldbrusk-kirtel, lunger samt helkropsdosis, der er identisk med sumkurven på fig. 5.1. Der skal gøres opmærksom på de forskellige ordinat-værdier på de forskellige figurer.

Doser i Sv	Gammadosis fra		Inhala- tion	Total dosis i maksimal- punktet	Tærskel- værdi
	skypas- sage	deponeret aktivitet			
Lunge	0,023	0,001	0,008	0,032	40
Knoglemarv	0,022	0,001	0,001	0,024	1
Skjoldbruskk.	0,027	0,001	0,834	0,862	250
Helkrop	0,024	0,001	0,034	0,059	-

**Tabel 5.1.** Organdoser 2 km fra værket ved Pasquill D, vindha-  
stighed 5 m/s og ingen regn.

I tabel 5.1. er vist maksimalverdier i afstanden 2 km fra værket, altså den afstand hvori der for denne vejrsituation er fundet de største dosisverdier. Der er vist dosiskomponenternes fordeling på de forskellige organer, og der er i sidste kolonne vist tærskelverdierne for akutte virkninger, der er nærmere beskrevet i kapitel 3.

Som det ses på fig. 5.2. kommer knoglemarvsdoserne højst op på 0,05 Sv ved værkets hegn. Der vil derfor ikke være risiko for tidlige dødsfald eller akutte sygdomstilfælde.

Af tabel 5.1. ses, at skjoldbruskkirteldosis i afstanden 2 km bliver godt 0,8 Sv, hvilket ikke vil medføre akutte skader.

Det ses yderligere, at lungedosis højst bliver 0,05 Sv, hvilket ikke giver risiko for lungesygdomme endsige tidlige dødsfald.

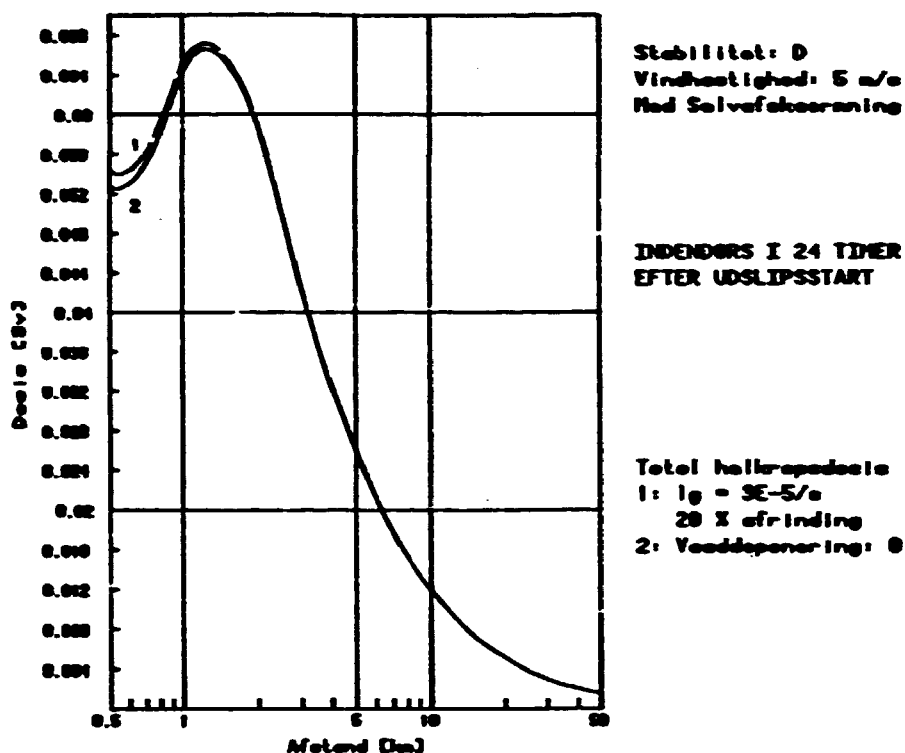
En mere detaljeret analyse med bl.a. dosisfordeling på isotopgrupper findes i bilag C.

#### 5.1.2. Pasquill D. 5 m/s, 0,5 mm regn/time

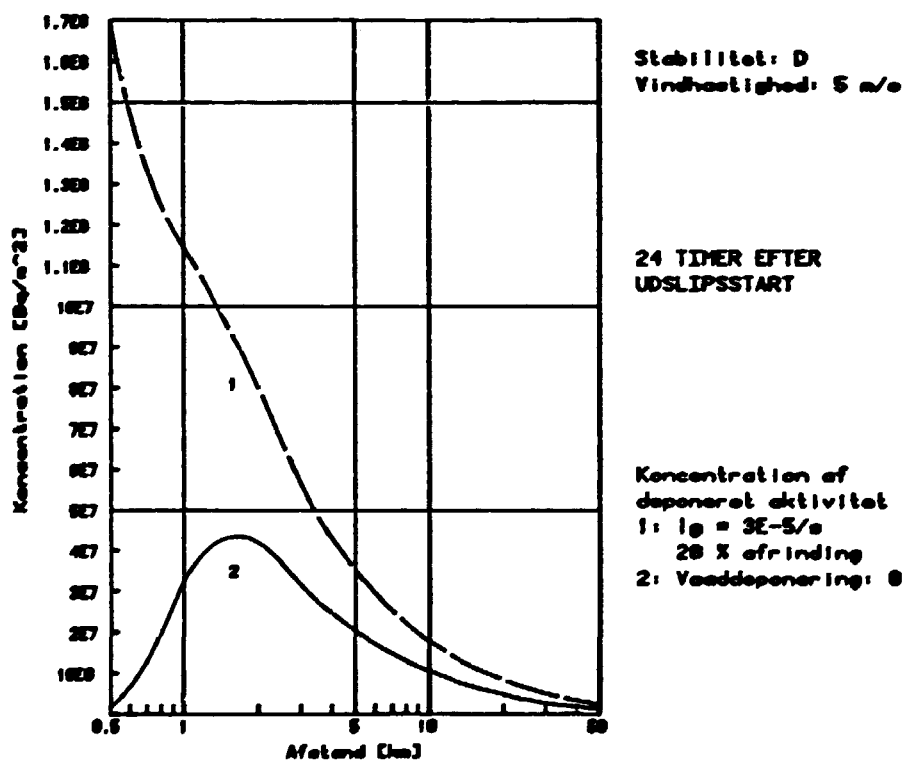
-----

På fig. 5.3 er vist den totale helkropsdosis ved 0,5 mm regn i timen og til sammenligning kurve 4 fra fig. 5.1 og 5.2. Kurven er beregnet med en våddeponeringsparameter på  $3 \cdot 10^{-5}$ /s. Der er i beregningen taget hensyn til udvaskningen af den radioaktive sky, og der regnes med, at 20% af det udvaskede materiale vil løbe bort med regnvandet. Det ses, at dosis stiger en smule lige ved værket; men fra 2 km er de 2 kurver næsten sammenfaldende.

På fig. 5.4 er vist koncentrationen af deponeret aktivitet ved 0,5 mm regn i timen sammenlignet med den tilsvarende kurve uden regn. Det ses, at den beskedne regnintensitet medfører en stærkt forøget koncentration især på kort afstand fra værket.



**Fig. 5.3.** Total helkropsdosis ved 0,5 mm regn i timen, sammenlignet med kurven uden regn.



**Fig. 5.4.** Koncentration af deponeret aktivitet ved 0,5 mm regn i timen, sammenlignet med kurven uden regn.

Inhalationsdosis har maksimum 2 km fra værket. I dette punkt er helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter i tabel 5.2.

Doser i Sv	Gammadosis fra		Inhalation	Total dosis i maksimal- punktet
	skypassage	deponeret aktivitet		
Helkrop	0,024	0,001	0,034	0,059

Tabel 5.2. Doser 2 km fra værket ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s og 0,5 mm regn i timen.

På fig. 5.5. er den totale helkropsdosis ved en regnintensitet på 0,5 mm i timen opdelt i dosiskomponenter. Ved sammenligning med fig. 5.1. ses, at gammadosis fra skypassage og inhalationsdosis er omtrent uforandret fra situationen uden regn. Gammadosis fra deponeret aktivitet er derimod steget lidt, og det medfører, at den totale dosis stiger umiddelbart udenfor værket.

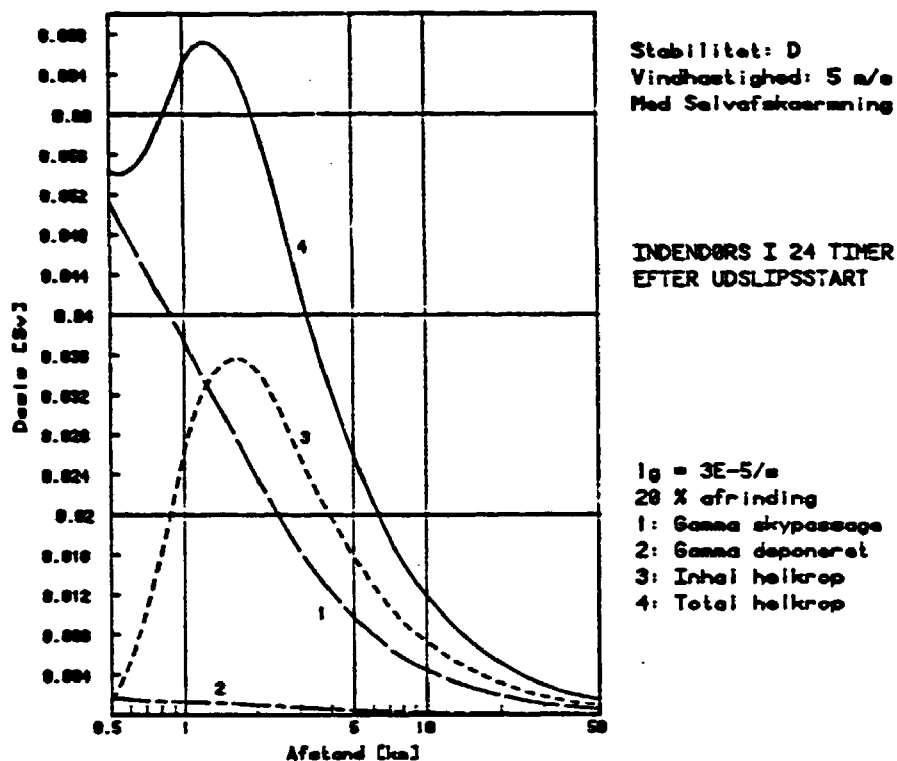
#### 5.1.3. Pasquill P, 2 m/s, med og uden meandering

-----

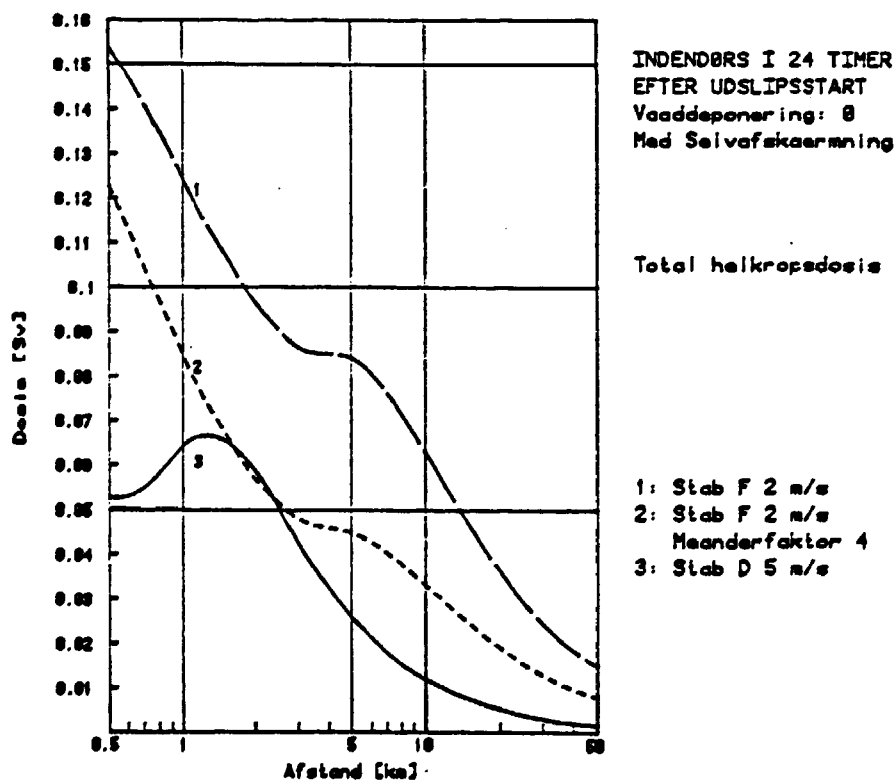
På fig. 5.6. er vist total helkropsdosis ved stabilitet P med en vindhastighed på 2 m/s. Der er ikke beregnet meander faktorer på grundlag af vejrstatistikken, men som et regneeksempel er valgt en meanderfaktor på 4. Endelig er til sammenligning vist den totale helkropsdosis ved stabilitet D, som går igen fra de foregående figurer.

Da stabilitet P har mindre horisontal spredning end stabilitet D, bliver skyen mere koncentreret, og det medfører, at gammadosis fra skypassage vokser. Da denne dosiskomponent er dominerende i starten, giver de to stabilitet P situationer større doser end stabilitet D.

Den vertikale spredning er også mindre ved stabilitet P end ved stabilitet D, dette medfører, at skyen når jordoverfladen i større afstand fra værket. Det dosisminimum, der ved stabilitet D er i en afstand på 700 m fra værket, rykker således ud til en afstand på 3 km fra værket.



**Fig. 5.5.** Total helkropsdosis opdelt i dosiskomponenter ved 0,5 mm regn i timen.



**Fig. 5.6.** Total helkropsdosis ved stabilitet F og D.



Inhalationsdosis har maksimum 7 km fra værket. I denne afstand er skjoldbruskkirtel- og helkropsdosis opdelt i dosis-komponenter for de to stabilitet F situationer i tabel 5.3.

Doser i SV	Gammadosis fra		Inhalation	Total dosis i maksimal- punktet
	skypassage	deponeret aktivitet		
Skjoldbruskk.				
ingen meander	0,04	-	0,98	1,02
meander faktor 4	0,021	-	0,514	0,535
Helkrop				
ingen meander	0,035	0,0001	0,0409	0,076
meander faktor 4	0,0187	0,0001	0,0214	0,0402

Tabel 5.3. Doser 7 km fra værket ved Pasgill F, vindhastighed 2 m/s.

#### 5.1.4. Normal færden i 1 år

Den totale helkropsdosis stiger som funktion af tiden det første år efter uheldet. Stigningen skyldes udelukkende gammadosis fra deponeret aktivitet, idet inhalationsdosis og gammadosis fra skypassage ikke vokser, når skypassagen er forbi.

Afstand	2 km	5 km	10 km	50 km
Efter 24 timer	1,05%	1,10%	1,14%	0,94%
Efter 365 døgn	10,9%	11,9%	13,2%	14,0%

Tabel 5.4. Gammadosis fra deponeret aktivitets andel af den totale helkropsdosis efter 24 timers indendørs ophold og efter yderligere 1 års normal færden.

I tabel 5.4. er vist andelen af dosis fra deponeret aktivitet efter hhv. 24 timer og et års normal færden på centerlinien i fire forskellige afstande fra uheldsstedet.

## 5.2. Kollektivdoser

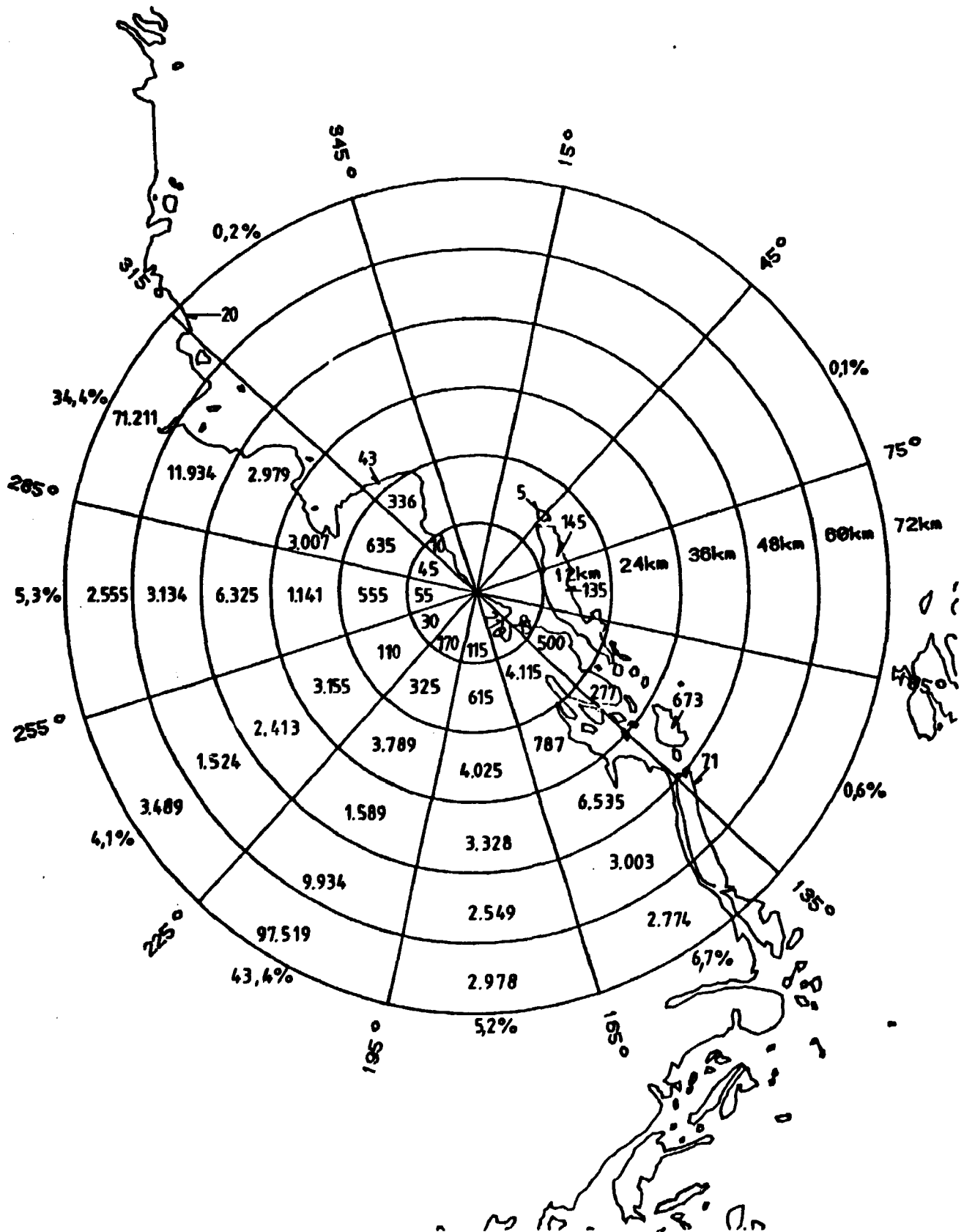
På fig. 5.7. og fig. 5.8. er vist befolkningsfordelingen omkring Forsmark ud til 72 km fra værket opdelt i 12 sektorer på hver  $30^\circ$ . 78% af befolkningen ud til 72 km er fordelt i sektoren  $195^\circ$ - $225^\circ$  (med 44%) og sektoren  $285^\circ$ - $315^\circ$  (med 34%). Den store befolkning i disse to sektorer skyldes henholdsvis Uppsala og Gävle begge mellem 60 og 70 km fra værket.

Der beregnes kollektive helkropsdoser efter 1 år. Efter det første døgn indendørs regnes med normal færden i 365 dage på det pågældende sted. Det viser sig, at 86% af den samlede dosis modtages det første døgn under skypassagen, medens de resterende 365 dages ophold kun giver anledning til 14% af dosis.

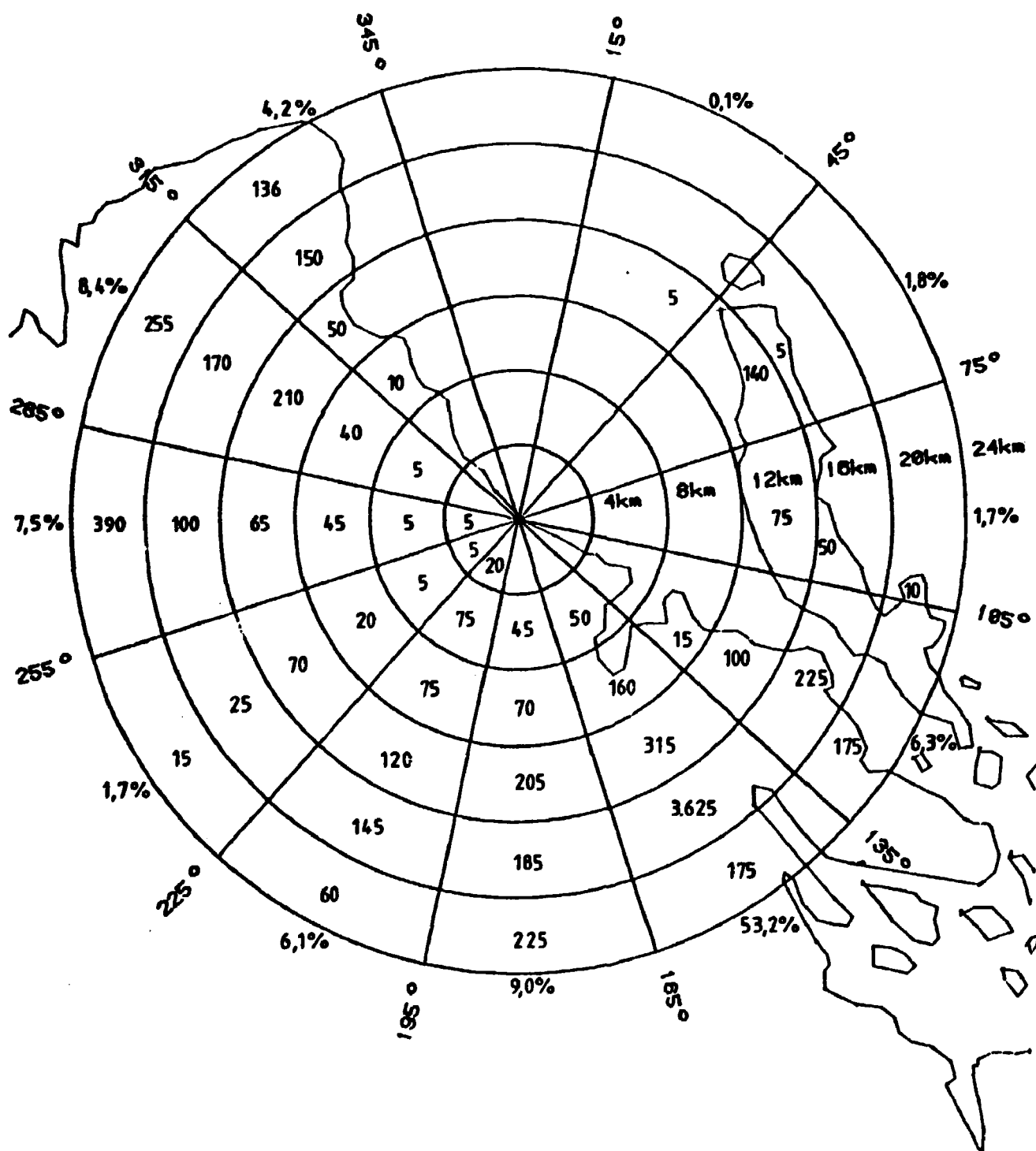
For at finde de maksimale konsekvenser beregnes først kollektivdoser for 12 forskellige retninger ( $30^\circ$ ,  $60^\circ$  ...). Der tages hensyn til et område på  $\pm 25^\circ$  omkring disse udslipsretninger. Ikke overraskende viser det sig, at de to udslipsretninger  $210^\circ$  og  $300^\circ$  giver de største kollektive doser ud til 72 km på henholdsvis 87 og 94 mandSv. For mere nøjagtigt at finde de maksimale konsekvenser beregnes dernæst kollektivdoser for retningerne  $195^\circ$ ,  $200^\circ$ ,  $205^\circ$ ,  $215^\circ$ ,  $220^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $285^\circ$ ,  $290^\circ$ ,  $295^\circ$ ,  $305^\circ$ ,  $310^\circ$  og  $315^\circ$ . Det viser sig så, at de to udslipsretninger, der giver størst doser er  $205^\circ$  og  $295^\circ$  med henholdsvis 115 og 104 mandSv.

Selv om befolkningen i retning  $210^\circ$  er 26% større end befolkningen i retning  $300^\circ$ , bliver de kollektive doser i retning  $205^\circ$  kun 11% større end doserne i retning  $295^\circ$ , idet Uppsala ligger 4 km længere væk fra kraftværket end Gävle (henholdsvis 67 og 63 km).

Den maksimale dosis på 115 mandSv svarer til den naturlige baggrundsstråling på ét år til den pågældende befolkning på ca. 115.000 fra kosmisk stråling, intern stråling og stråling fra undergrunden på ca. 1 mSv/år. Hertil kommer bidrag fra medicinsk bestråling og radon fra boliger.



**Fig. 5.7.** Befolkningsfordeling i sektorsegmenter 0-72 km fra Forsmark ifølge Bergqvist, 1980. Samlet befolkningstal ud til 72 km er 260.880.



**Fig. 5.8.** Befolkningsfordeling i sektorsegmenter 0-24 km fra Forsmark ifølge Bergqvist, 1980. Samlet befolknings-  
tal ud til 24 km er 8.126.

## 6. REFERENCER

- ALDRICH, D.C., m.fl., 1978, "Public protection strategies for potential nuclear reactor accidents: Sheltering concepts with existing public and private structures", SAND 77-1725.
- BERGQVIST, G. och FINCK, R., 1980, "Befolkningens geografiska fördelning kring svenska kärnkraftverk", FOA rapport C 40122-A3.
- CEDERVALL, B., 1985, "Dosomvandlingsfaktorer för beräkning av omgivningskonsekvenser vid missöde eller haveri vid kärnkraftverk", Vattenfall KS-60/84, Rev. 1.
- ENGELMANN, R.J., 1968, "The calculation of precipitation Scavenging. In Meteorology and Atomic Energy", edited by D.H. Slade, USAEC Technical Information Center, Oak Ridge, Tennessee, 208-221.
- GALE, H.J., m.fl., 1963, "The weathering of caesium 137 in soil", AERE-R-4241.
- HEDEMANN JENSEN, P., 1980, "Inhalationsdosisfaktorer til beregning af committed effektivt dosis ækvivalent fra indåndet aktivitet".
- HEDEMANN JENSEN, P., 1984, "Calculated Shielding Factors for Selected European Houses", Risø-M-2474.
- HEINEMANN, K. and VOGT, K.J., 1980, "Measurements of the Deposition of Iodine onto vegetation and of the biological half-life of iodine on vegetation", Health Physics 39, 463-502.
- ICRP 79. "Limits for the Intake of Radionuclides by Workers". ICRP publication 30, part 1, 1979.

LAURIDSEN, B. and HEDEMANN JENSEN, P., 1981, "Shielding Factors for Vehicles to Gamma Radiation from Activity Deposited on Ground Surfaces", Risø-M-2339.

MILJØSTYRELSEN, 1984, "Rapport om nedsættelsesfaktorer fra doser ved ophold inden døre".

NRC, 1975, "Reactor Safety Study. An assessment of accident risks in U.S. commercial nuclear power plants", WASH-1400 (NUREG 75/014).

NRPB, 1978, "Annual Limits of Intake of Radionuclides for Workers", NRPB-R82.

O'BRIEN, K. and SANNA, R., 1976, "The distribution of absorbed dose-rates in humans from exposure to environmental gamma rays". Health Physics 30, 71-78.

RITCHIE, L.T. et al., 1984, "CRAC2 Model Description". NUREG-CR-2552/SAND82-0342.

ROED, J., 1981, "Undersøgelse af overfladedeposering med henblik på beregning af deponeringen af luftbåret materiale frigjort ved kernenedsmeltning i kraftreaktorer", Risø-M-2274.

SEHMEL, G.A., 1980, "Model predictions and a summary of dry deposition velocity data", accepteret til Atmospheric environment i 1981.

STATENS STRÅLSKYDDSinSTITUT, 1979, "Effektive Beredskab. Konsekvensbeskrivelser". Vol. 5.

THYKIER-NIELSEN, S., 1980, "The Risø model for calculating the consequences of the release of radioactive material to the atmosphere", Risø-M-2214.

THYKIER-NIELSEN, S. and LARSEN, S., 1982, "The Importance of Deposition for Individual and Collective Doses in Connection with Routine Releases from Nuclear Power Plants", Risø-M-2205.

USAEC, (U.S. Atomic Energy Commission), 1972, "Onsite meteorological Programs". Safety Guide 23, office of Standards Development (NRC Regulatory Guide 1.23).

Bilag A: Meteorologistatistik

Udslips- retning Grader	Stabilitet A % m/s	Stabilitet B % m/s	Stabilitet C % m/s	Stabilitet D % m/s	Stabilitet E % m/s	Stabilitet F % m/s
15- 45	0,27 6,50	0,27 6,26	0,16 6,07	3,91 6,78	5,12 7,37	1,81 7,08
45- 75	0,11 4,63	0,10 4,80	0,07 5,45	1,90 5,57	2,71 6,99	1,32 6,56
75-105	0,11 5,44	0,04 8,19	0,08 7,13	1,43 5,40	2,17 6,72	1,64 6,39
105-135	0,23 5,97	0,15 5,10	0,13 4,16	3,67 5,10	2,58 5,79	1,87 5,04
135-165	1,46 4,06	0,58 3,70	0,30 3,98	5,44 4,97	1,65 4,23	0,70 2,92
165-195	3,11 3,32	0,77 2,75	0,43 2,75	5,81 5,34	1,96 5,17	2,17 1,17
195-225	0,80 5,23	0,25 4,85	0,11 6,44	3,45 6,73	2,19 6,38	0,79 2,90
225-255	0,50 4,58	0,17 5,15	0,09 4,11	2,52 6,20	1,54 5,33	0,60 2,97
255-285	0,24 6,40	0,10 3,83	0,05 4,53	2,45 7,01	1,84 5,15	0,43 2,77
285-315	0,15 4,92	0,08 4,53	0,11 5,01	2,81 6,15	2,93 5,83	0,57 3,89
315-345	0,20 5,95	0,05 5,06	0,05 4,39	3,12 5,25	4,03 5,96	1,12 4,98
345- 15	0,49 6,68	0,23 5,75	0,15 5,45	3,70 5,63	4,73 6,84	1,15 6,04

**Tabel A1.** Øverste tal angiver fordelingen af stabilitet i de enkelte udslipsretninger for Forårmark i % af perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombination. Der benyttes vindhastighed og retning for højden 96 m.



Udslips- retning Grader	Vindhastighed					TOTAL
	under 1 m/s %	1-3 m/s %	3-6 m/s %	6-10 m/s %	over 10 m/s %	
15- 45	0,05 0,65	0,64 2,05	2,99 4,43	6,23 7,77	1,63 11,32	11,54 7,06
45- 75	0,13 0,56	0,66 1,87	1,78 4,43	2,88 7,60	0,75 11,22	6,20 6,37
75-105	0,07 0,63	0,77 1,80	1,52 4,37	2,46 7,76	0,65 10,91	5,46 6,27
105-135	0,16 0,63	1,39 1,98	3,68 4,30	2,97 7,52	0,43 11,06	8,63 5,30
135-165	0,26 0,64	2,96 1,98	4,37 4,12	2,01 7,33	0,55 12,14	10,14 4,47
165-195	6,49 0,50	1,49 1,98	2,32 4,08	1,71 7,57	2,24 12,79	14,25 4,02
195-225	0,14 0,56	1,50 1,96	2,40 4,18	2,36 7,69	1,18 12,17	7,58 6,01
225-255	0,08 0,59	1,05 1,89	2,24 4,31	1,53 7,23	0,53 12,11	5,42 5,38
255-285	0,10 0,74	0,84 1,90	2,00 4,30	1,48 7,41	0,70 12,61	5,12 5,87
285-315	0,14 0,71	0,96 1,97	2,43 4,44	2,70 7,66	0,42 11,32	6,66 5,75
315-345	0,09 0,68	0,96 1,99	3,75 4,47	3,34 7,28	0,42 10,81	8,56 5,56
345- 15	0,08 0,63	0,89 2,06	3,58 4,42	5,10 7,66	0,79 11,10	10,45 6,27
Total	7,79 0,53	14,08 1,96	33,06 4,32	34,76 7,58	10,30 11,83	100 5,60

**Tabel A2.** Øverste tal angiver fordelingen af vindhastigheder i de enkelte udslips-  
retninger for Forårmark i % af perioden 23/4-1976 til 26/2-1978.  
Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombina-  
tion. Der benyttes vindhastighed og retning for højden 96 m.

Vindhastighed	Stabilitet A % m/s	Stabilitet B % m/s	Stabilitet C % m/s	Stabilitet D % m/s	Stabilitet E % m/s	Stabilitet F % m/s
Under 1 m/s	1,69 0,50	0,42 0,51	0,24 0,51	2,77 0,53	0,92 0,57	1,75 0,52
1-3 m/s	0,86 2,21	0,61 2,15	0,28 2,03	5,58 1,95	4,06 1,91	2,70 1,92
3-6 m/s	3,05 4,14	1,04 4,17	0,73 4,38	13,98 4,35	9,57 4,37	4,69 4,24
6-10 m/s	1,49 7,35	0,55 7,43	0,40 7,27	12,52 7,53	15,23 7,64	4,57 7,65
Over 10 m/s	0,58 12,73	0,16 12,05	0,08 11,85	5,35 12,10	3,68 11,41	0,46 10,87
Total	7,67 4,39	2,78 4,28	1,73 4,46	40,20 5,77	33,44 6,23	14,18 4,66

Tabel A3. Øverste tal angiver fordelingen af stabilitet i de enkelte vindhastighedsintervaller for Forsmark i % af perioden 23/4-1976 til 26/2-1978. Nederste tal angiver middelvindhastigheden for den pågældende kombination.

Udslips- retning Grader	Stabilitet B %	Stabilitet C %	Stabilitet D %	Stabilitet E %	Stabilitet F %	Total %
15- 45	0,3	-	8,0	3,4	0,3	11,9
45- 75	-	-	2,6	1,4	0,6	4,5
75-105	-	-	2,6	1,1	0,3	4,0
105-135	-	-	5,7	1,7	0,6	7,9
135-165	-	-	10,5	1,1	-	11,6
165-195	-	0,6	9,9	1,1	1,1	12,8
195-225	0,3	-	6,0	1,4	1,1	8,8
225-255	-	-	2,6	1,7	-	4,3
255-285	-	-	4,8	2,0	0,3	7,1
285-315	-	-	5,4	2,0	-	7,4
315-345	-	-	3,1	4,5	0,9	8,5
345- 15	0,3	0,3	5,4	4,5	0,6	11,1
Total	0,9	0,9	66,5	26,1	5,7	100

**Tabel A4.** Fordelingen af den tid det regner opdelt i udslipsretninger og stabiliteter. Der er ingen tilfælde af regn i stabilitet A, som derfor ikke er medtaget i tabellen. Tabellen omfatter kun 2,67% af perioden fra 23/4-1976 til 26/2-1978, idet det er tørvejr i de resterende 97,33% af perioden.

Bilag B: Dosisregningsfaktorer

Isotop	Knoglemarv Sv/Bq	Lunger Sv/Bq	Skjoldbruskk. Sv/Bq	Helkrop Sv/Bq
Kr 85mW	1,05E-13	5,68E-14	5,41E-14	2,11E-14
Kr 85 W	1,65E-13	4,86E-14	4,86E-14	2,70E-14
Kr 87 W	3,51E-13	2,59E-13	2,62E-13	8,11E-14
Kr 88 W	8,38E-13	5,41E-13	5,41E-13	1,81E-13
Rb 88 V	1,44E-12	1,03E-10	3,00E-12	2,20E-11
Rb 89 V	3,10E-12	5,47E-11	3,62E-12	1,00E-11
Sr 89 V	1,27E-11	7,09E-8	6,40E-12	1,00E-8
Sr 90 V	3,06E-11	7,00E-7	8,66E-12	3,40E-7
Sr 91 V	2,92E-11	2,29E-9	4,76E-11	4,00E-10
Y 90 V	1,61E-11	9,31E-9	1,36E-12	2,20E-9
Y 91 V	7,06E-11	9,50E-8	2,48E-12	1,20E-8
Mo 99 V	6,70E-11	4,32E-9	5,52E-11	9,90E-10
Tc 99mV	4,43E-12	3,13E-11	3,98E-12	5,70E-12
Ru103 V	2,15E-10	1,61E-8	1,67E-10	2,10E-9
Ru105 V	8,34E-12	4,69E-10	1,18E-11	1,10E-10
Ru106 V	1,36E-10	5,24E-7	1,04E-10	1,20E-7
Rh105 V	1,69E-11	1,00E-9	1,33E-11	2,30E-10
Sb127 V	1,89E-10	7,91E-9	1,95E-10	1,50E-9
Sb129 V	1,87E-11	7,88E-10	2,86E-11	1,60E-10
Te127mV	2,84E-11	3,59E-8	6,94E-12	5,30E-9
Te127 V	7,39E-12	4,47E-10	6,46E-12	7,80E-11
Te129mV	8,07E-10	2,63E-8	1,35E-10	5,50E-9
Te129 V	1,86E-13	1,28E-10	2,04E-13	1,80E-11
Te131mV	2,14E-10	2,17E-9	2,22E-10	1,50E-9
Te131 V	1,41E-12	6,78E-11	1,26E-12	1,20E-10
Te132 V	4,10E-10	2,50E-9	2,94E-10	2,10E-9
I 131uV	7,77E-11	6,76E-10	1,49E-7	8,80E-9
I 131oV	7,77E-11	6,76E-10	1,49E-7	8,80E-9
I 132uV	2,12E-11	2,86E-10	3,58E-9	9,10E-11
I 132oV	2,12E-11	2,86E-10	3,58E-9	9,10E-11
I 133uV	3,75E-11	8,27E-10	9,70E-8	1,50E-9
I 133oV	3,75E-11	8,27E-10	9,70E-8	1,50E-9
I 134uV	9,04E-12	1,54E-10	6,06E-10	3,00E-11
I 134oV	9,04E-12	1,54E-10	6,06E-10	3,00E-11
I 135uV	4,91E-11	5,28E-10	1,88E-8	3,00E-10
I 135oV	4,91E-11	5,28E-10	1,88E-8	3,00E-10
Xe133 W	4,32E-13	1,11E-13	1,18E-13	6,76E-14
Xe135 W	5,68E-13	2,54E-13	2,46E-13	1,05E-13
Cs134 V	4,53E-9	1,81E-8	2,36E-9	1,30E-8
Cs136 V	3,00E-9	3,61E-9	2,34E-9	2,00E-9
Cs137 V	3,74E-9	1,48E-8	2,08E-9	8,70E-9
Cs138 V	8,08E-12	1,51E-10	1,32E-11	2,40E-11
Ba140 V	8,79E-10	1,22E-9	2,82E-10	9,70E-10
La140 V	2,26E-10	3,56E-9	3,02E-10	1,20E-9

Tabel B1. De i beregningerne brugte dosisregningsfaktorer for inhalationsdosis. De benyttede integrationstider er for knoglemarv 30 dage, for lunger 1 år, for skjoldbruskkirtel 1 uge og for hele kroppen 50 år. For de med V mærkede isotoper er faktorerne opgivet af Vattenfall, medens der for de med W mærkede isotoper bruges faktorer fra WASH-1400, Appendix VI, Tabel D-2.

Energigruppe	Knoqlemarv	Lunger	Skjoldbruskk.	Helkrop.
under 0,08 MeV	0,4700	0,4500	0,5300	0,4500
0,08 MeV - 0,15 MeV	0,5100	0,5400	0,5717	0,5400
0,15 MeV - 0,25 MeV	0,4500	0,4600	0,5756	0,4900
0,25 MeV - 0,51 MeV	0,4800	0,4900	0,5691	0,5200
0,51 MeV - 0,85 MeV	0,5000	0,5100	0,6400	0,5400
0,85 MeV - 1,33 MeV	0,5271	0,5311	0,7373	0,5644
1,33 MeV - 2,03 MeV	0,5600	0,6100	0,6400	0,6200
over 2,03 MeV	0,6000	0,6200	0,6900	0,6400

**Tabel B2.** Selvfaskørningsfaktorer brugt ved beregning af gamma-doser fra skypassage og deponeret aktivitet til henholdsvis knoqlemarv, lunger, skjoldbruskkirtel og helkrop. (Pra O'Brien, 1976).

Isotop	Selvafskærmningsfaktorer				Dosis i luft (Sv/h)/(Bq/m <sup>2</sup> )
	Knoglemarv	Lunger	Skjoldbruskk.	Helkrop	
Rb 88	0,569	0,606	0,690	0,624	2,72E-12
Rb 89	0,564	0,576	0,737	0,605	9,34E-12
Sr 89	-	-	-	-	0
Sr 90	-	-	-	-	0
Sr 91	0,509	0,518	0,674	0,549	5,54E-12
Y 90	-	-	-	-	0
Y 91	-	-	-	-	0
Mo 99	0,494	0,506	0,627	0,534	7,16E-13
Tc 99m	0,491	0,499	0,551	0,499	9,92E-13
Ru103	0,481	0,491	0,574	0,523	2,16E-12
Ru105	0,494	0,504	0,624	0,533	4,07E-12
Ru106	-	-	-	-	0
Rh105	0,478	0,490	0,568	0,519	5,23E-13
Rh106	0,502	0,517	0,639	0,543	1,53E-11
Sb127	0,494	0,502	0,619	0,534	3,50E-12
Sb129	0,515	0,527	0,672	0,557	6,71E-12
Te127m	-	-	-	-	0
Te127	-	-	-	-	0
Te129m	0,500	0,510	0,639	0,540	1,40E-13
Te129	0,473	0,476	0,569	0,501	3,23E-13
Te131m	0,512	0,522	0,674	0,553	6,84E-12
Te131	0,516	0,526	0,649	0,552	1,96E-12
Te132	0,452	0,460	0,572	0,488	1,05E-12
I 131u	0,483	0,492	0,578	0,524	2,22E-12
I 132u	0,504	0,517	0,647	0,546	1,16E-11
I 133u	0,504	0,512	0,652	0,543	3,79E-12
I 134u	0,505	0,517	0,664	0,545	1,34E-11
I 135u	0,536	0,557	0,685	0,581	7,18E-12
Cs134	0,502	0,513	0,641	0,542	8,01E-12
Cs136	0,509	0,516	0,677	0,548	1,05E-11
Cs137	0,500	0,510	0,640	0,540	3,00E-12
Cs138	0,563	0,595	0,671	0,613	1,16E-11
Ba140	0,492	0,500	0,618	0,529	1,20E-12
La140	0,542	0,578	0,639	0,595	1,09E-11

Tabel B3. De i beregningerne brugte selvafskærmningsfaktorer for deponeret aktivitet. For at beregne gammadosis fra deponeret aktivitet skal koncentrationen af deponeret aktivitet integreres over det betragtede tidsrum, ganges med dosis i luft, med selvafskærmningsfaktoren for det pågældende organ, med afskærmningsfaktoren for indendørs eller normalt ophold og med en faktor 0,7 for jordafskærmning.

## Bilag C: Beregningsresultater

På fig. C.1A og C.1B er vist helkropsdoser for 24 timers indendørs ophold opdelt på 5 isotopgrupper: Methyljodid, uorganisk jod, ædelgas, cæsium og andre isotoper. På fig. C.1A er vist den absolutte fordeling, hvor sum-kurven er den samme som kurve 4 på fig. 5.1. og 5.2. på fig. C.1B er sumkurven sat til 100%, og den relative dosisfordeling af de 4 isotopgrupper er vist.

Da ædelgas næsten udelukkende giver doser fra skypassagen, falder dosisandelen fra ædelgas fra ca. 85% til ca. 32%, når skyen når jordoverfladen. Samtidig øges dosisandelen for de andre isotoper, idet det her primært er inhalation af methyljodid, der har betydning.

På fig. C.2A og C.2B er vist koncentrationen af deponeret aktivitet opdelt i 3 isotopgrupper: Uorganisk jod, cæsium og andre isotoper. Ædelgasserne bidrager ikke til koncentrationen af deponeret aktivitet. Cæsiumisotoperne bidrager ikke væsentligt til den deponerede aktivitet 24 timer efter nedlukning, men efterhånden som de mere kortlivede isotoper henfalder, vil cæsiums andel af koncentrationen stige. Dosisfordelingen er ca. 88% til uorganisk jod og ca. 12% til andre isotoper. Kun en del af jodkoncentrationen skyldes jodudslippet, resten skyldes henfald af Tellur.

På fig. C.3 er vist den totale dosis til skjoldbruskkirtelen i de to stabilitet F situationer og i stabilitet D. Det ses, at stabilitet D giver de største doser indenfor de første 3 km, fordi stabilitet F situationerne først når deres maksimum omkring 7 km fra værket.

På fig. C.4 er vist koncentration af deponeret aktivitet ved stabilitet D og de to F stabiliteter. Her fremgår det meget tydeligt, at skyen først opnår maksimal koncentration ved jordoverfladen 7 km fra værket i de to F situationer, medens der ved stabilitet D er maksimum allerede efter 2 km.

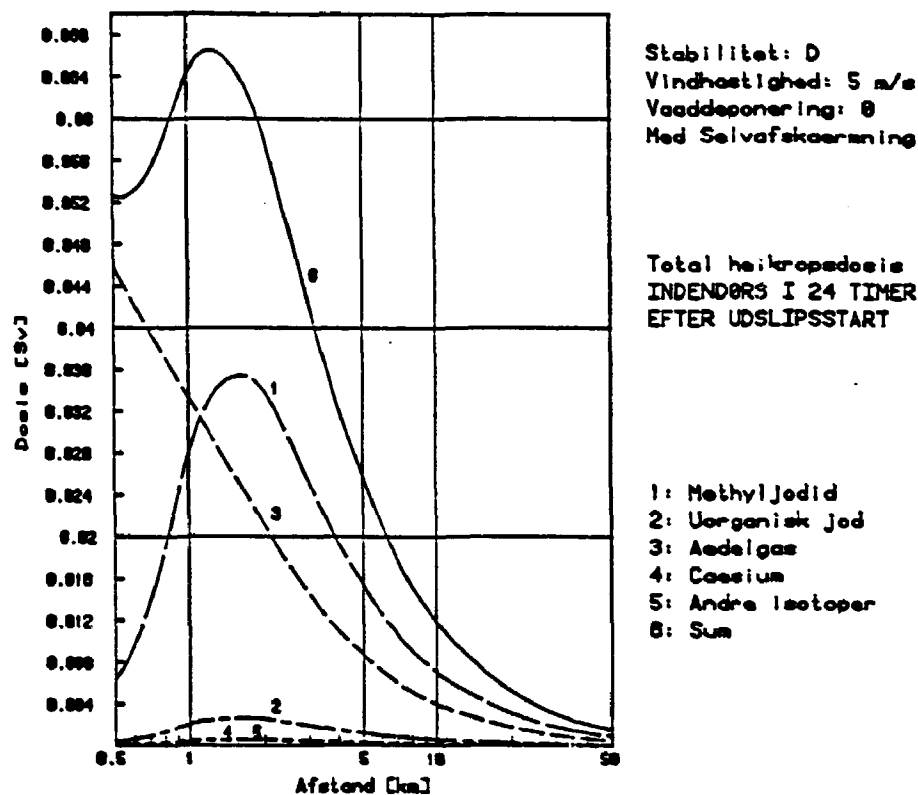


Fig. C.1A. Total helkropsdosis opdelt i isotopgrupper.

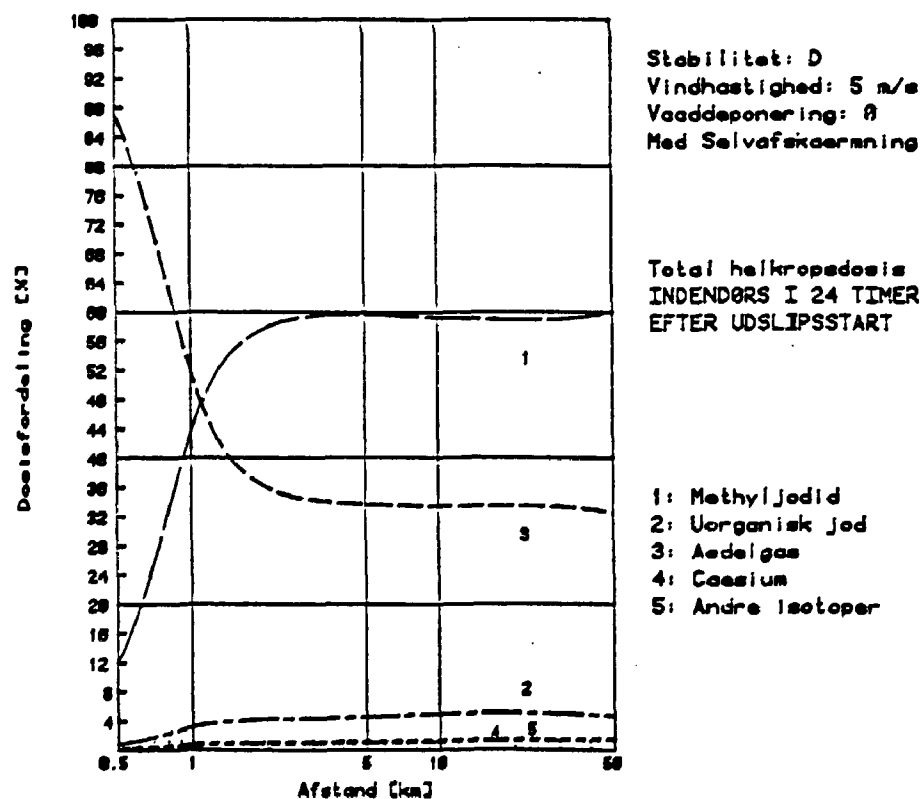
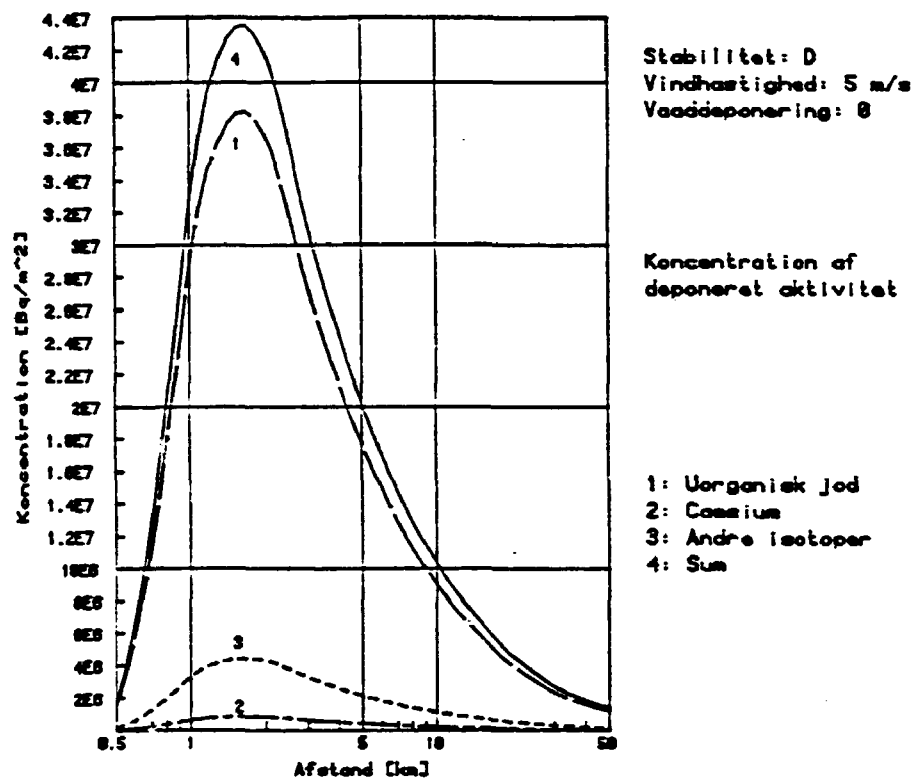
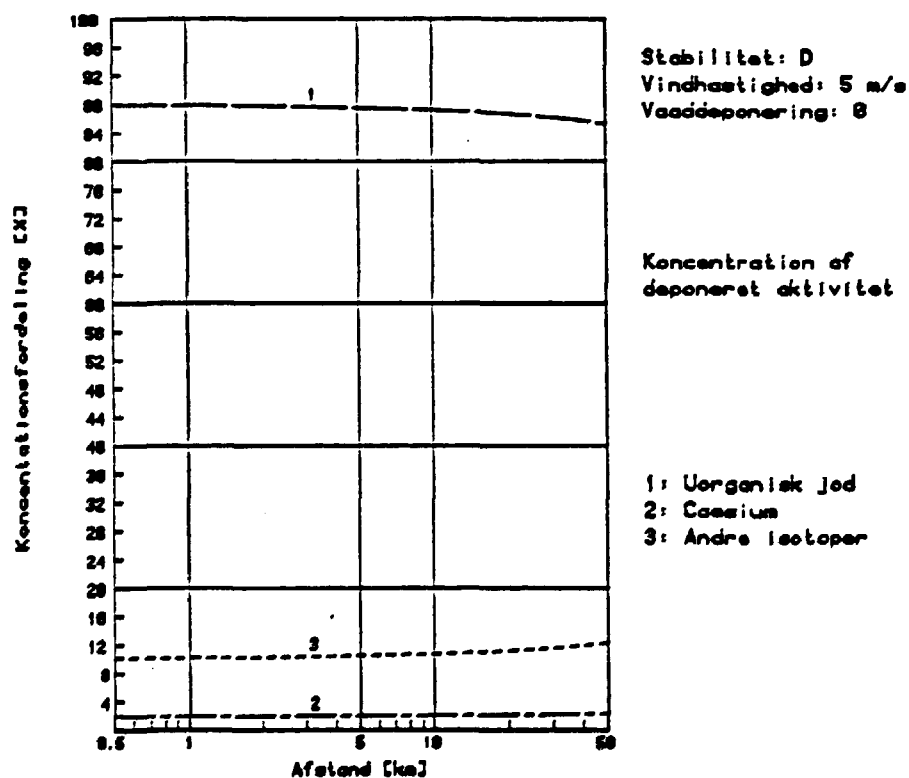


Fig. C.1B. Isotopgruppefordeling af total helkropsdosis.





**Fig. C.2A.** Koncentration af deponeret aktivitet opdelt i isotopgrupper efter 24 timer.



**Fig. C.2B.** Isotopgruppefordeling af koncentration af deponeret aktivitet efter 24 timer.

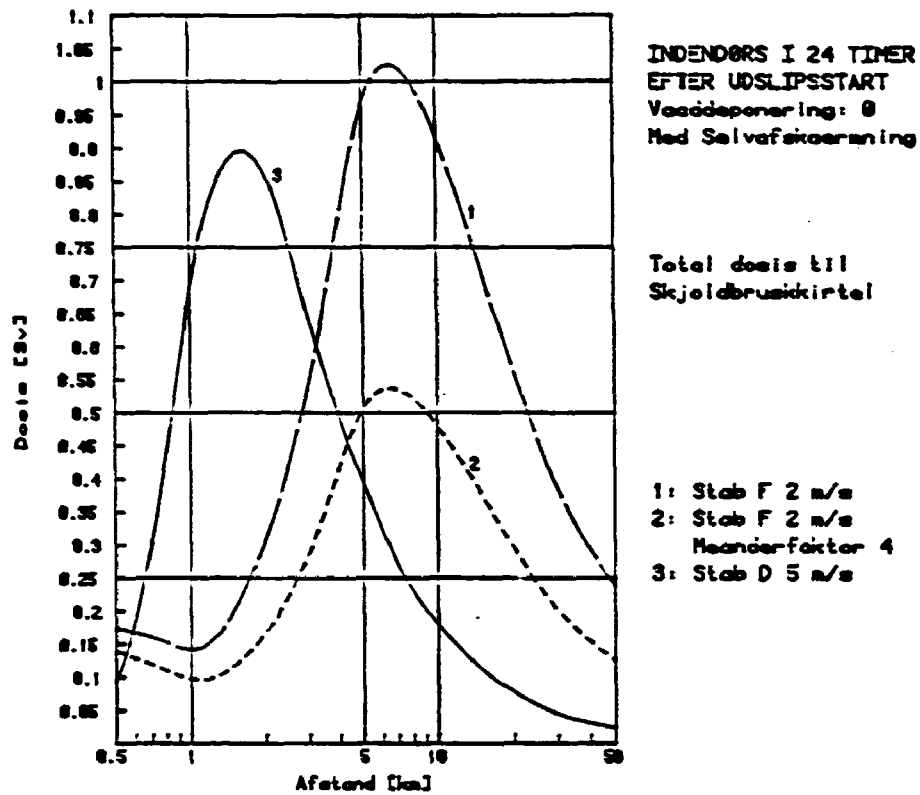


Fig. C.3. Total skjoldbruskkirteldosis ved stabilitet F og D.

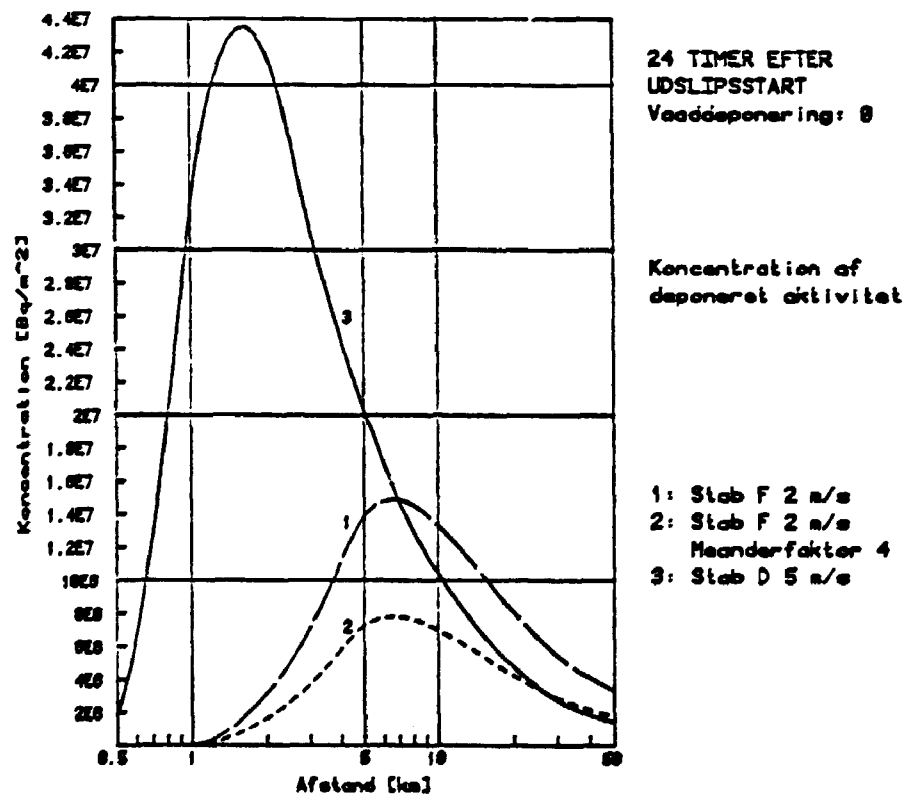
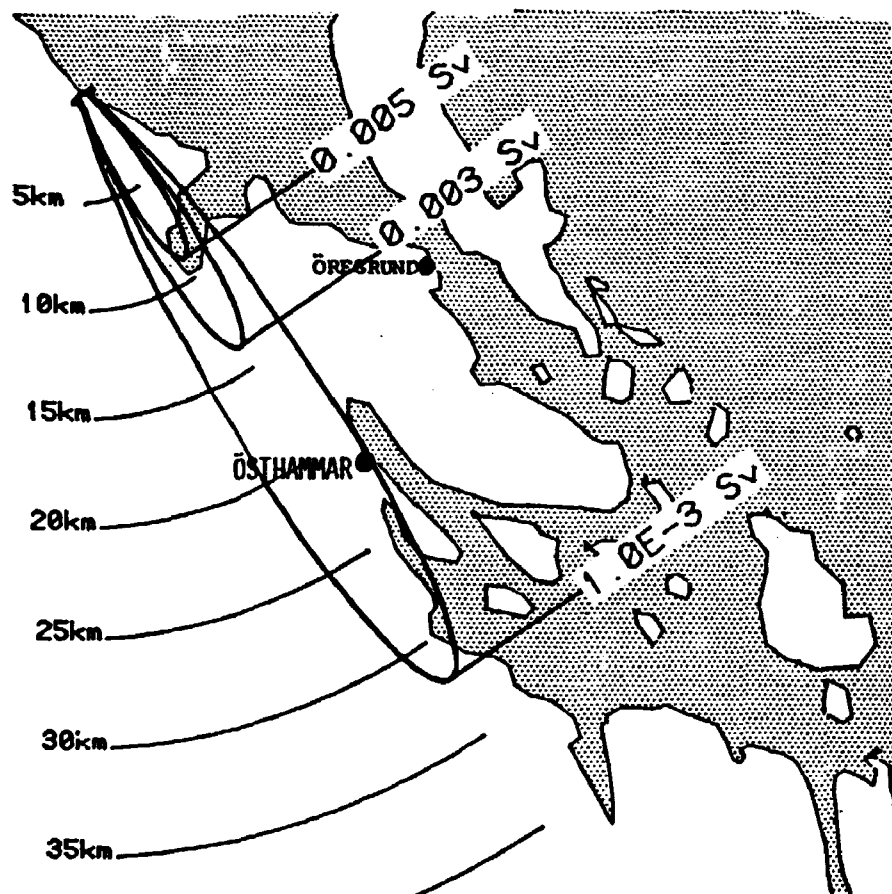


Fig. C.4. Koncentration af deponeret aktivitet ved stabilitet F og D.

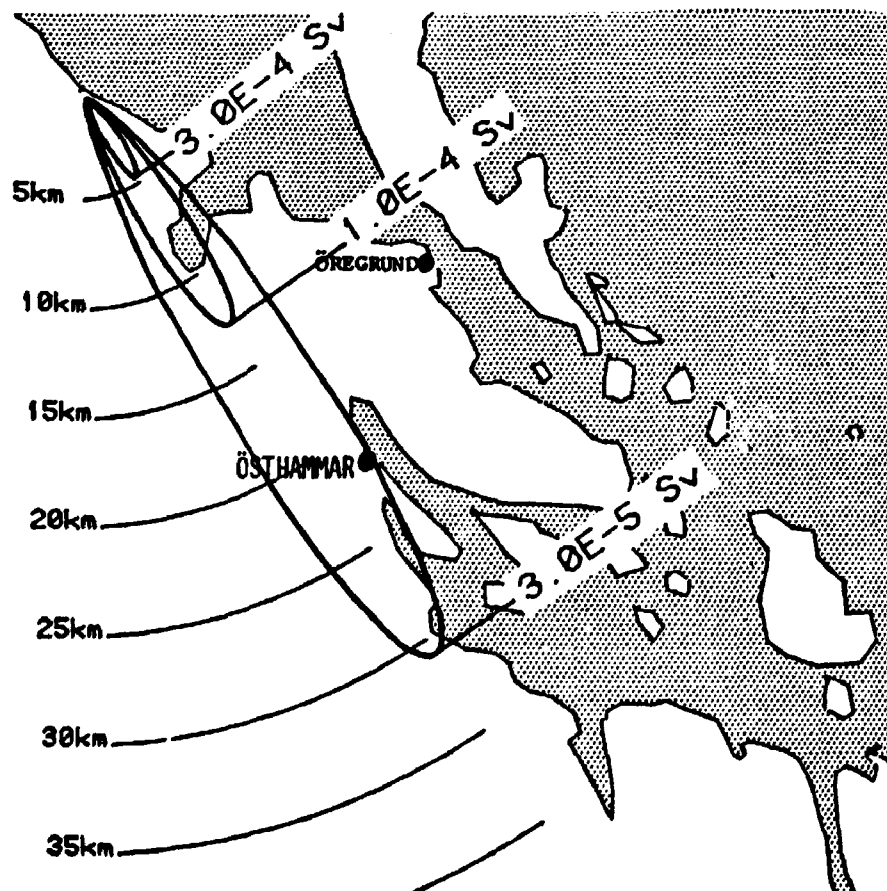
På fig. C.5 - C.8 er vist isodosiskurver for henholdsvis gammadosis fra skypassage, gammadosis fra deponeret aktivitet, inhalationsdosisbidraget til helkropsdosis og den totale helkropsdosis. På grund af den relativt høje vindhastighed bliver isodosiskurverne relativt smalle og langstrakte. Det er valgt at præsentere isodosiskurverne på et kort med vindretning mod Østhammer, hvor der fås maksimale doser i afstandsintervallet fra 14 til 60 km. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel C.1.

	Startafstand fra værket km	Slutafstand fra værket km	Maksimal bredde km	Areal km <sup>2</sup>
<b>Gammadosis fra skypassage</b>				
over 0,001 Sv	0	32	4,8	114
over 0,003 Sv	0	14	2,3	23
over 0,005 Sv	0	9,0	1,5	10
<b>Gammadosis fra deponeret aktivitet</b>				
over 0,00003 Sv	0,5	31	4,8	108
over 0,0001 Sv	0,5	13	2,1	19
over 0,0003 Sv	0,5	4,7	0,73	2,1
<b>Inhalation helkrop</b>				
over 0,002 Sv	0,5	28	4,3	88
over 0,005 Sv	0,6	14	2,2	21
over 0,01 Sv	0,7	7,5	1,2	6,2
<b>Total helkrop</b>				
over 0,002 Sv	0	40	5,8	172
over 0,005 Sv	0	20	3,2	48
over 0,01 Sv	0	11	1,9	16

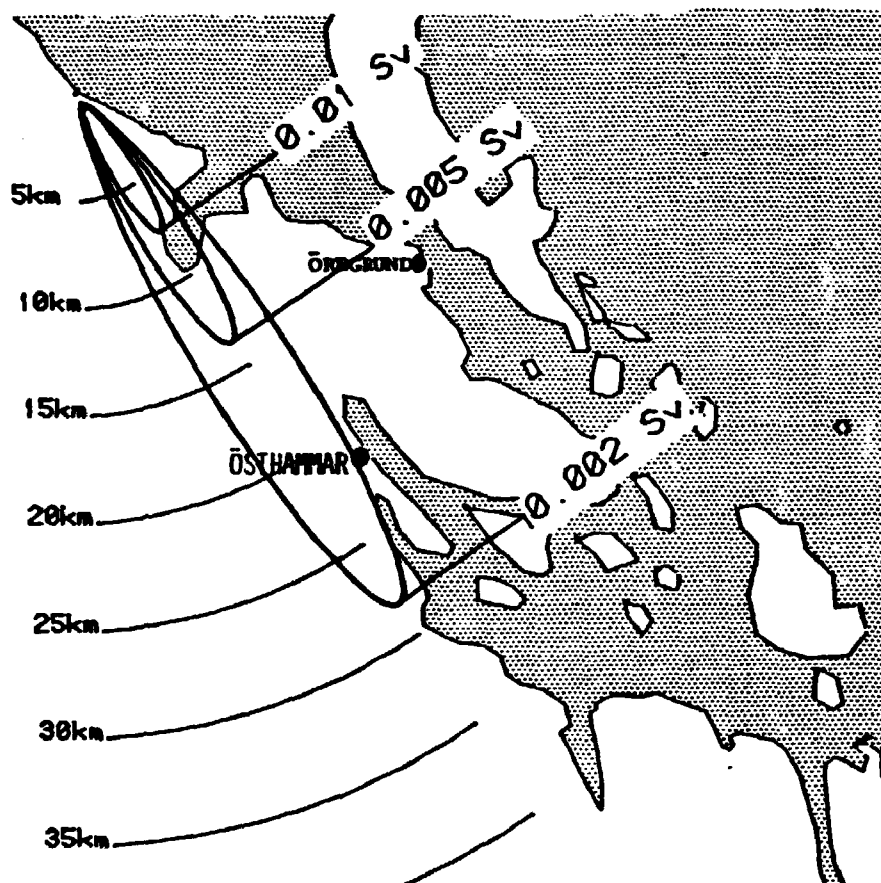
**Tabel C.1.** Dimensioner på isodosiskurver ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s. Der regnes med 24 timers indendørs ophold efter udslipsstart.



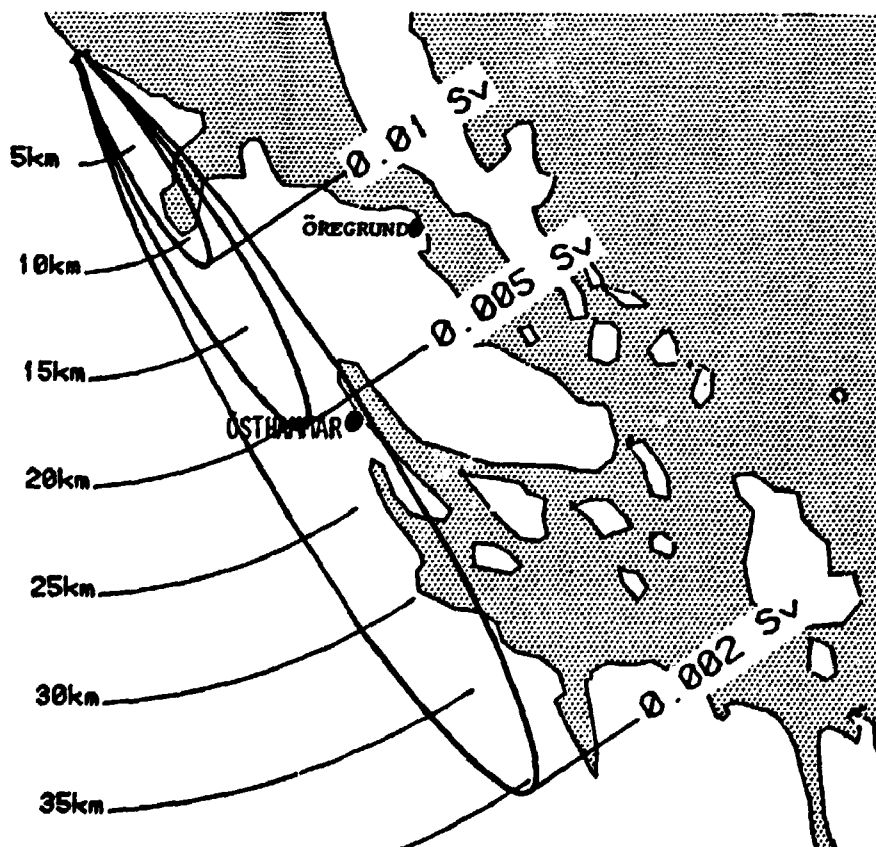
**Fig. C.5.** Gammadosis fra skypassage ved indendørs ophold.



**Fig. C.6.** Gammadosis fra deponeret aktivitet ved 24 timers indendørs ophold.



**Fig. C.7.** Inhalationsdosisbidrag til helkropsdosis med integrationstid på 50 år.



**Fig. C.8.** Total helkropsdosis med integrationstid på 50 år.

På fig. C.9 er vist total helkropsdosis, som funktion af tiden det første år efter uheldet. Der er regnet med indendørs ophold de første 24 timer og derefter normal færden.

På fig. C.10 er de konstante bidrag fra fig. C.9 fjernet, og kun væksten i gammadosis fra deponeret aktivitet er vist. Gammadosis fra deponeret aktivitet udgør en stadig stigende andel af den totale helkropsdosis jo længere tid, der går efter uheldet.

På fig. C.11A er vist, hvordan koncentrationen af deponeret aktivitet falder som funktion af tiden. På fig. C.11B er koncentrationen af deponeret aktivitet 2 km fra værket opdelt i isotopgrupper. Det ses, at uorganisk jod udgør ca. 88% af den deponerede aktivitet de første dage, herefter falder jodprocenten hurtigt, og der er næsten intet tilbage efter 60 dage. Dette forløb genfindes på fig. C.11A, idet koncentrationen har en halveringstid på ca. 5 dage de første 15 dage, herefter bliver de mere langlivede isotoper dominerende, og halveringstiden stiger langt over jods halveringstid på 8 dage.

På fig. C.12 er vist gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år som funktion af afstanden fra værket. De 4 slutpunkter fra fig. C.10 kan genfindes på kurven. De på kurven viste doser gælder for centerlinien i vindretnigen. Doserne falder meget hurtigt med stigende afstand på tværs af centerlinien.

Til illustration af dette er på fig. C.13 vist isodosiskurver for 3 doser fra fig. C.12. Dimensionerne på isodosiskurverne fremgår af tabel C.2.

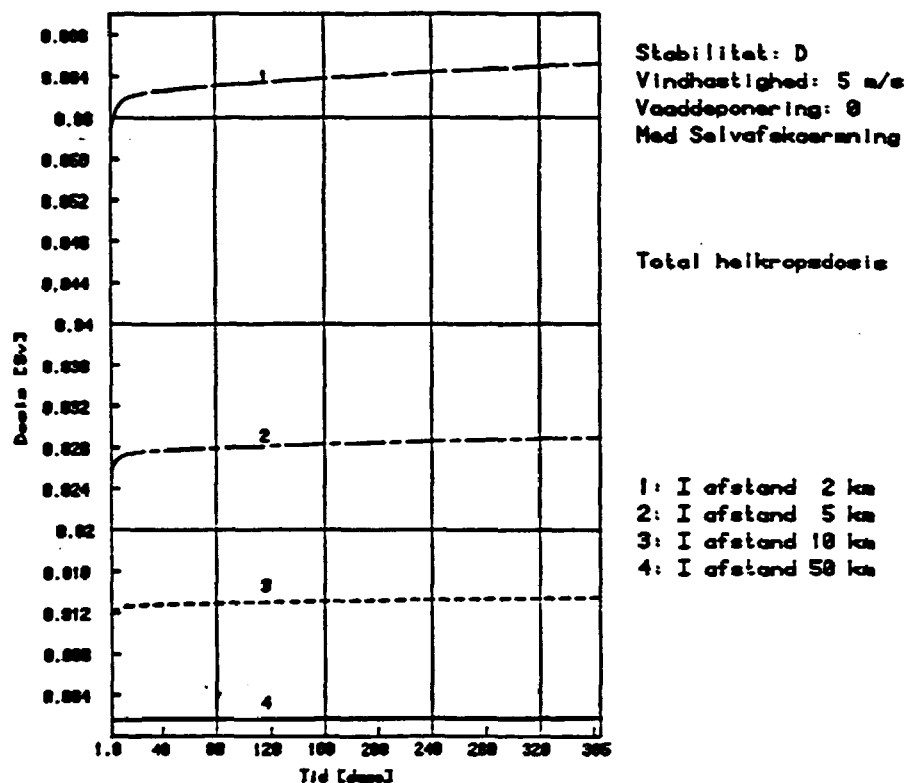


Fig. C.9. Total helkropsdosis ved normal færden i 1 år og indendørs ophold det første døgn.

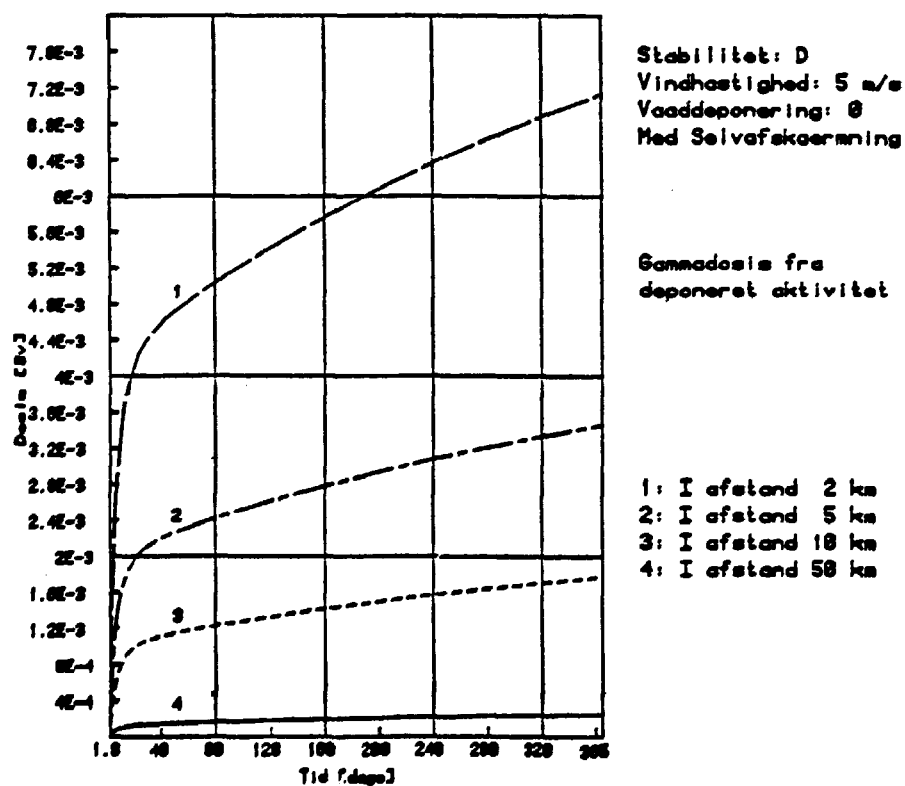


Fig. C.10. Gammadosis fra deponeret aktivitet i 4 afstande. Efter 24 timer indendørs regnes med normal færden.

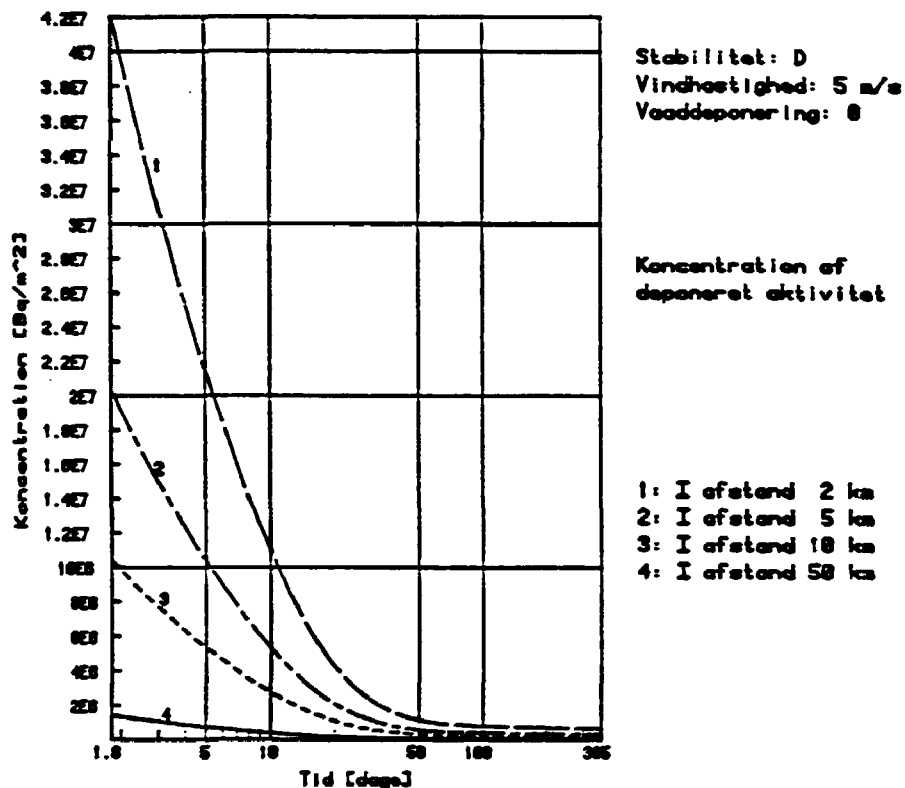


Fig. C.11A. Koncentration af deponeret aktivitet i 4 afstande ved stabilitet D.

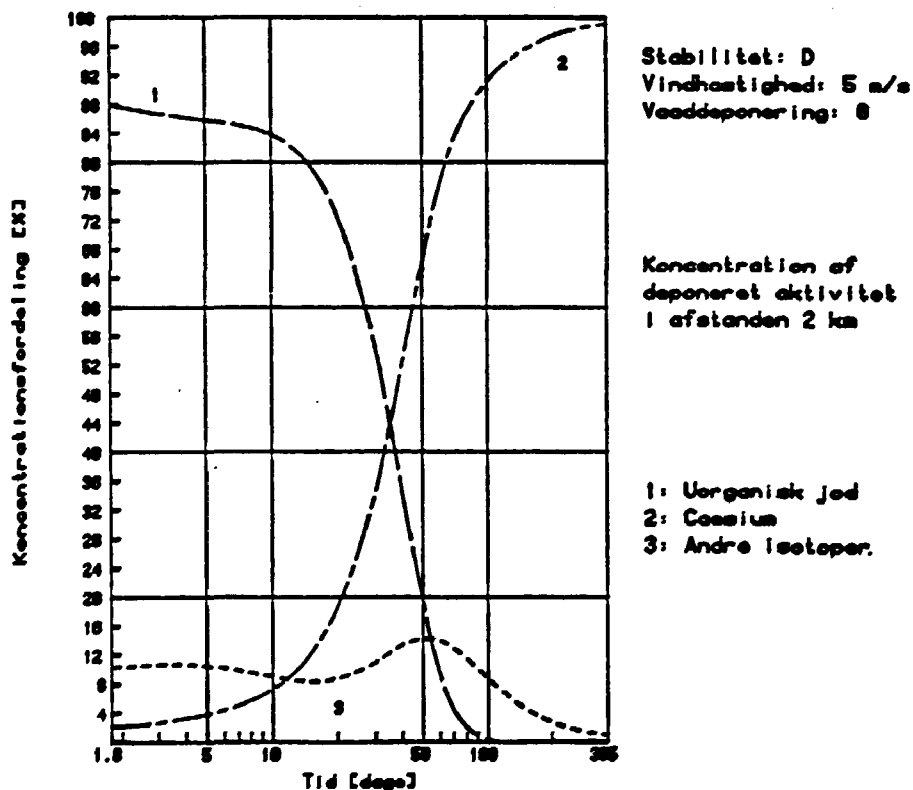
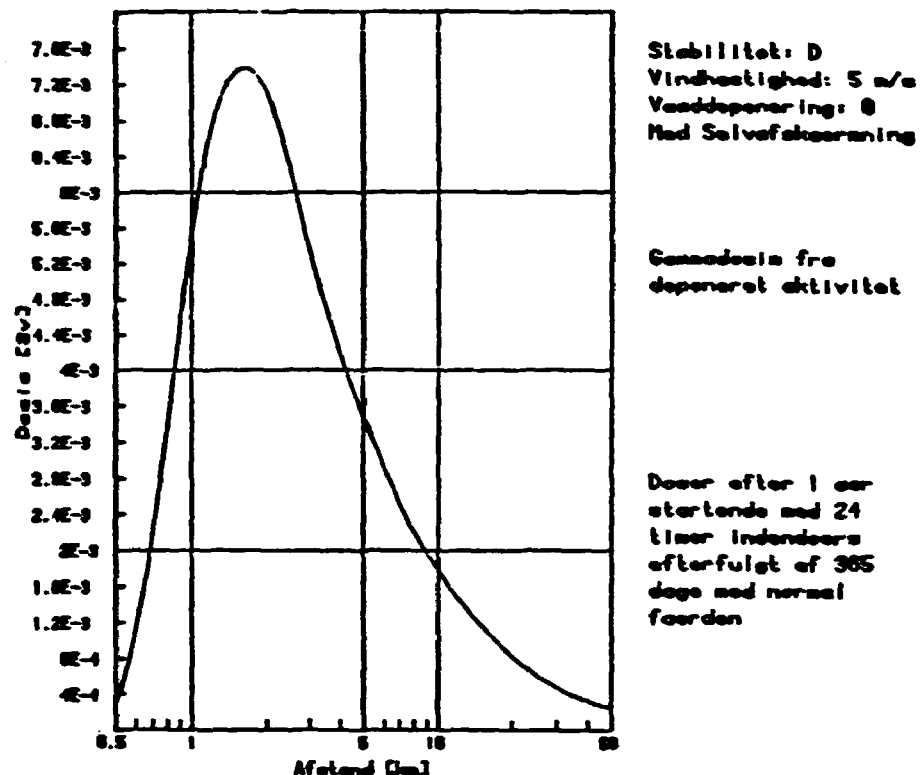
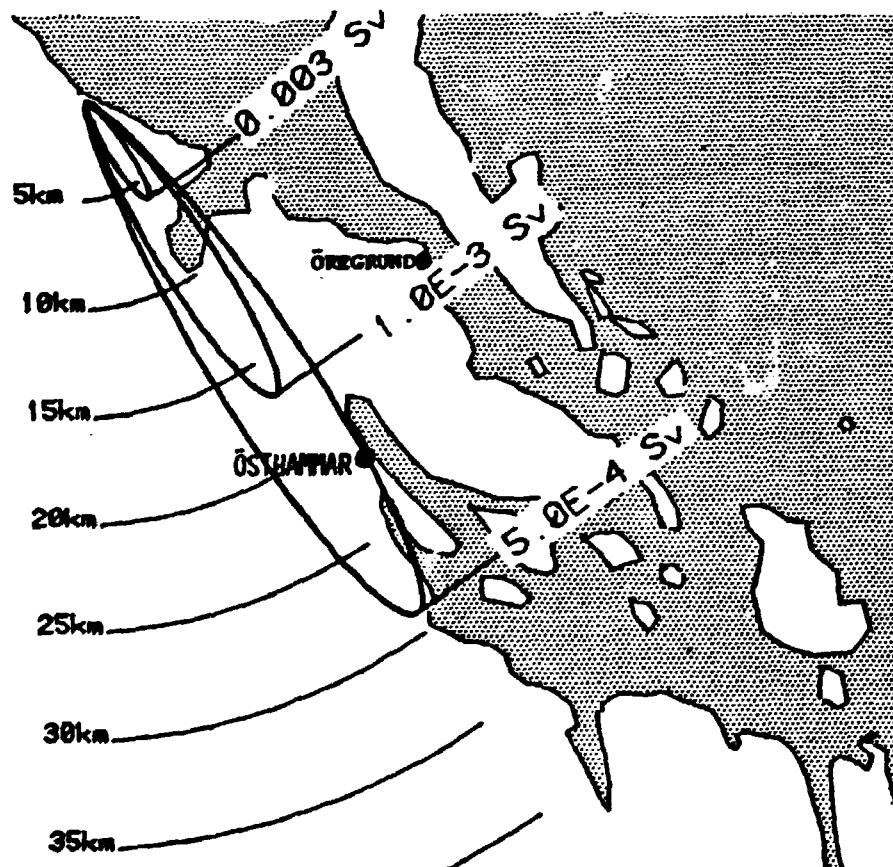


Fig. C.11B. Isotopgruppefordeling af koncentration af deponeret aktivitet 2 km fra værket.





**Fig. C.12.** Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter 24 timer indendørs regnes med normal færd.



**Fig. C.13.** Gammadosis fra deponeret aktivitet efter 1 år. Efter det første døgn indendørs regnes med normal færd i 365 dage på det pågældende sted.

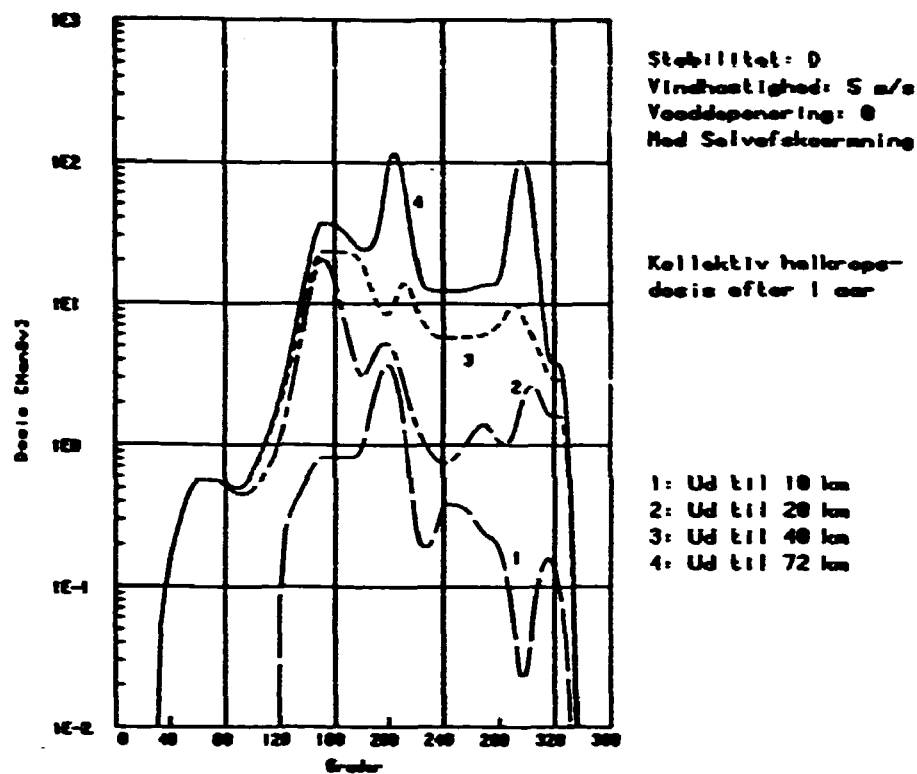
Gammadosis fra deponeret aktivitet	Start afstand fra værket km	Slutafstand fra værket km	Maksimal bredde km	Areal km <sup>2</sup>
over 0,0005 Sv	0,5	29	4,4	93
over 0,001 Sv	0,5	17	2,6	31
over 0,003 Sv	0,5	5,8	0,88	3,4

**Tabel C.2.** Dimensioner på isodosiskurver hidrørende fra deponeret aktivitet ved Pasquill D, vindhastighed 5 m/s. Der regnes med 24 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 dages normal færd på det pågældende sted.

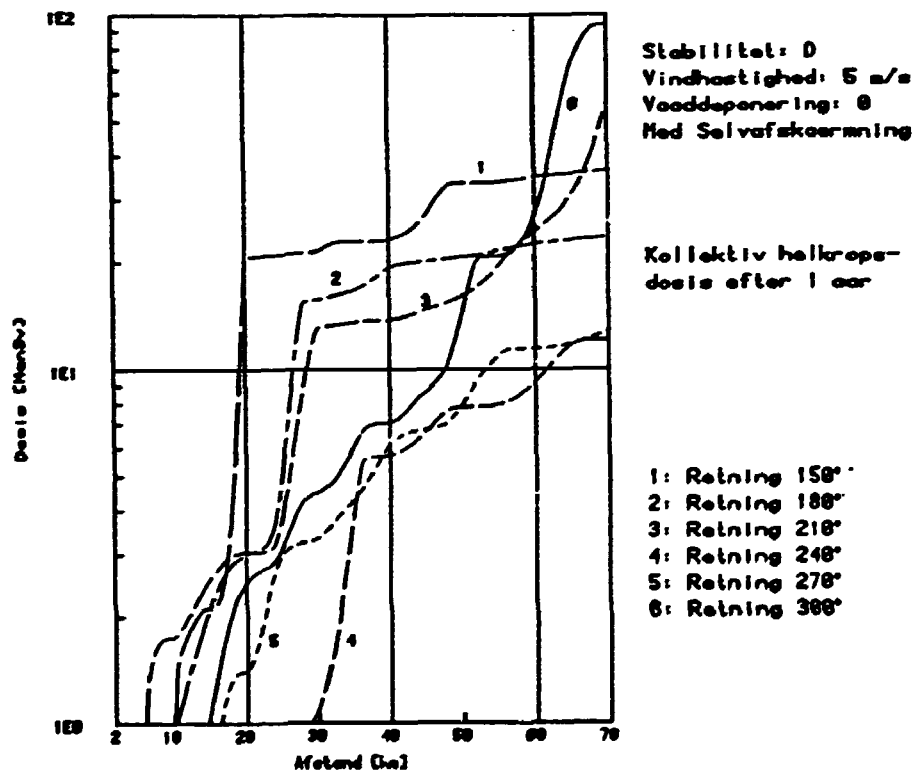
På fig. C.14 er vist kollektiv helkropsdosis efter et år, startende med 24 timers indendørs ophold efterfulgt af 365 dages normalt ophold på stedet som funktion af retningen.

På fig. C.15 og fig. C.16 ses, at retningen 205° giver størst doser, når der regnes ud til større afstande end 60 km. Retning 150° giver størst doser, når der regnes ud til mellem 14 og 60 km fra værket.

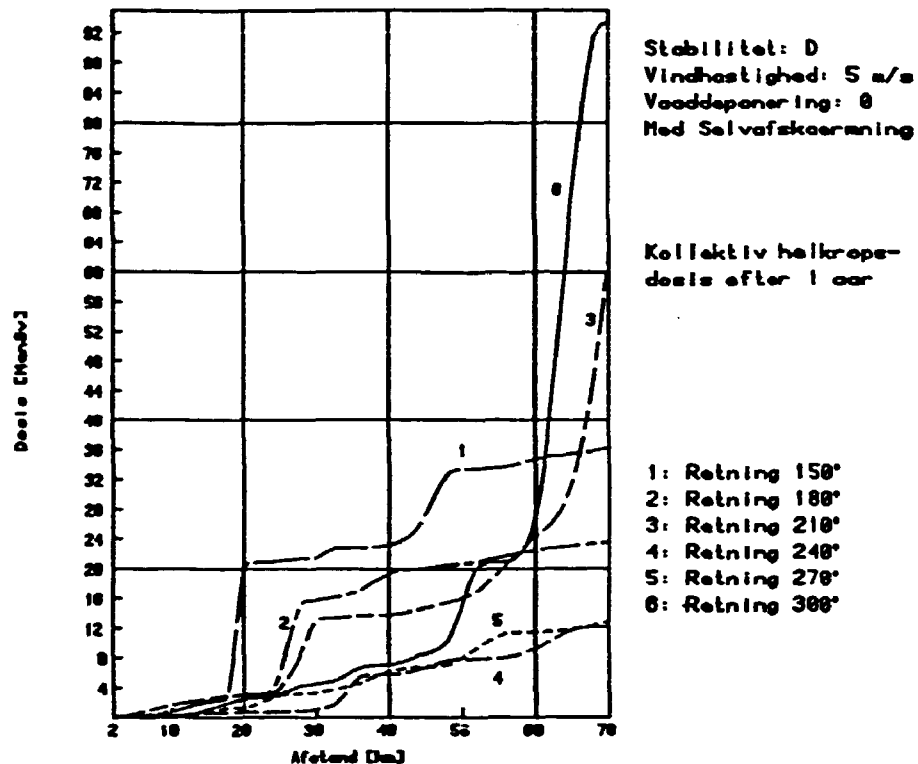
På fig. C.17 er vist en mere nøjagtig beregning af kollektivdosis i intervallet fra 190° til 310°.



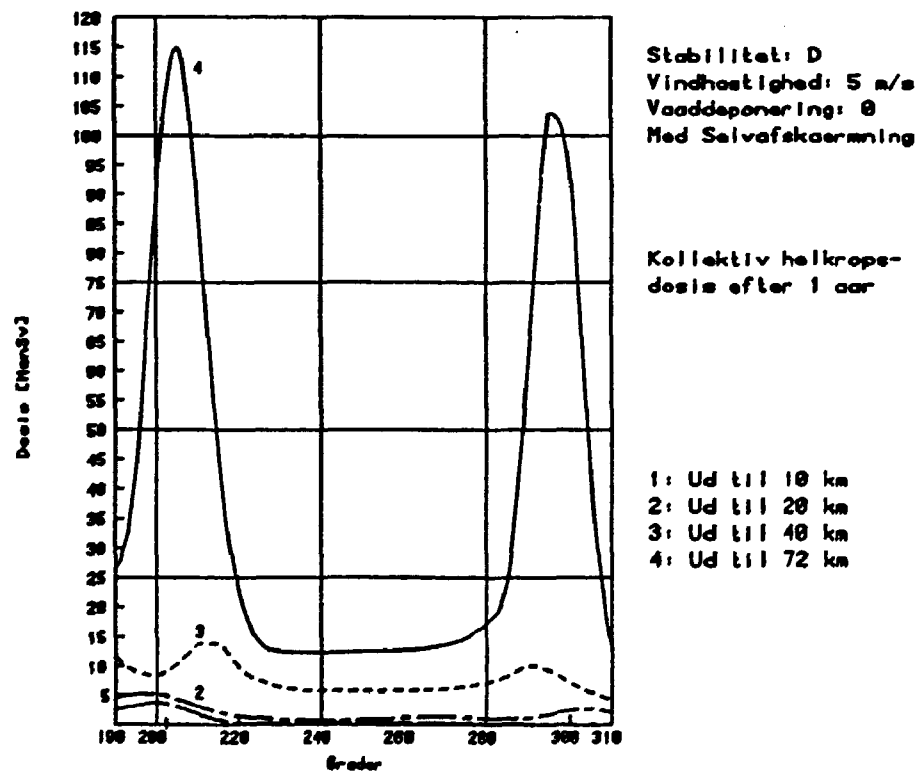
**Fig. C.14.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i 4 afstande fra værket.



**Fig. C.15.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 6 udslipsretninger, hvor kollektivdosis overstiger 10 ManSv indenfor de første 72 km fra værket.



**Fig. C.16.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af afstanden fra værket i de 6 udslipsretninger, hvor kollektivdosis overstiger 10 ManSv.



**Fig. C.17.** Kollektiv helkropsdosis som funktion af retningen i det 120° interval, hvor kollektivdosis overstiger 100 ManSv.

<b>Title and author(s)</b>  Method for Consequence Calculations for Severe Accidents. 0.06% release from Forsmark 3 (in Danish)  Flemming Nielsen and S. Thykier-Nielsen.	<b>Date</b> March 1987
	<b>Department or group</b>  Health Physics
	<b>Groups own registration number(s)</b>  
	<b>Project/contract no.</b>  BIT-550540
<b>Pages</b> 67 <b>Tables</b> 23 <b>Illustrations</b> 36 <b>References</b> 21	<b>ISBN</b> 87-550-1293-0

**Abstract (Max. 2000 char.)**

This report was commissioned by the Swedish State Power Board. The report contains a calculation of radiation doses in the surroundings caused by a theoretical core meltdown accident at Forsmark reactor No 3. The assumption used for the calculations were a 0.06% release of iodine and cesium corresponding to a 0.1% release through the FILTRA plant at Barsebäck. The calculations were made by means of the PLUCON4 code.

Meteorological data for two years from the Forsmark meteorological tower were analysed to find representative weather situations. As typical weather Pasquill D was chosen with wind speed 5 m/s, and as extreme weather, Pasquill F with wind speed 2 m/s.

**Descriptors - INIS**

CESIUM ISOTOPES; COMPUTER CALCULATIONS; DEPOSITION; FISSION PRODUCT RELEASE; FORSMARK-3 REACTOR; GAMMA RADIATION; HUMAN POPULATIONS; INHALATION; IODINE ISOTOPES; MAN; MELTDOWN; METEOROLOGY; NUCLEAR POWER PLANTS; ORGANS; P CODES; RADIATION DOSES; RADIOACTIVE CLOUDS; RARE GASES; WHOLE-BODY IRRADIATION

**Rekvireres fra  
Risø Bibliotek,  
Forskningscenter Risø, postboks 49,  
4000 Roskilde.  
Telefon 02 37 12 12, lokal 2262  
Telex 43116**

**ISBN 87-550-1293-0  
ISSN 0418-6435**